

OPERATIONSANALYTISCHE MODELLE DER KAPAZITÄTSDISPOSITION
AUS PRODUKTIONSTHEORETISCHER SICHT.

Jochen Conradi

1973

OPERATIONSANALYTISCHE MODELLE DER KAPAZITÄTSDISPOSITION
AUS PRODUKTIONSTHEORETISCHER SICHT

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Staatswirtschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München.

vorgelegt von

Jochen Conradi

1973



Referent: Prof. Dr. E. Heinen

Korreferent: Prof. Dr. W. Kirsch

Tag der mündlichen Prüfung: 23. Juli 1973

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
SYMBOLVERZEICHNIS	VII
EINFÜHRUNG	1
ERSTER TEIL: Produktions- und kostentheoretische Grundlagen	11
1. Die Formulierung der Entscheidungstatbestände auf der Grundlage der Produktionsfunktion vom Typ C	15
1.1. Die Berücksichtigung quantitativer Kapazitätsrestriktionen bei der Produktionsfunktion vom Typ C	15
1.2. Die Formulierung einer dynamischen Produktionsfunktion	20
A) Kontinuierliches Modell	21
B) Periodenbezogenes Modell	33
1.3. Die Dispositionsform als Determinante der Produktionsfunktion	38
1.4. Die Abstimmung von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot	51
1.4.1. Die Anpassung des Kapazitätsangebotes	52
1.4.2. Die Angleichung des Kapazitätsbedarfes	54
a) Änderung der Kombinationszeit t_{jk}	55
b) Änderungen der primären Wiederholungsfunktion	56
c) Änderungen der sekundären Wiederholungsfunktion	62
d) Änderungen der tertiären Wiederholungsfunktion	63
e) Änderungen der quartären Wiederholungsfunktion	64

2. Die Problematik kostentheoretischer Entscheidungsmodelle zur Disposition der Kapazitäten	65
2.1. Entscheidungsbereiche bei der sukzessiven Lösung des Kapazitätsproblems	68
2.1.1. Die Variation des Potentialfaktorbestandes	69
2.1.2. Programmentscheidungen bei gegebenen Kapazitäten	73
2.1.3. Die Wahl der Prozeßparameter zur Steuerung der Produktion	75
2.1.4. Die Verknüpfung der Entscheidungsbereiche zu einem Planungssystem	77
2.2. Die Problematik operationaler Zielfunktionen	78
2.2.1. Die Relevanz pagatorischer und wertmäßiger Ziele für lang- und mittelfristige Bereichsentscheidungen	80
2.2.2. Die Problematik von Zeit- und Kostenzielen im kurzfristigen Entscheidungsbereich	83
2.3. Die wert- und mengenmäßige Definition der Kostenelemente	97
2.3.1. Die Potentialfaktorkosten	98
2.3.1.1. Die Mengenkomponte sachlicher Potentialfaktorkosten	99
2.3.1.2. Die Wertkomponente sachlicher Potentialfaktorkosten	105
2.3.2. Die zeitabhängigen Kosten	113
2.3.2.1. Die Mengenkomponte der zeitabhängigen Kosten	114
2.3.2.2. Die Wertkomponente der zeitabhängigen Kosten	118
2.3.3. Die Berücksichtigung von Risiken bei der Kostenermittlung	120

EXKURS: Operationsanalytische Entscheidungsmodelle als Elemente der Entscheidungsfindung	122
1. Entscheidungstatbestände bei der Konzeption des Entscheidungsmodelles	124
2. Wertungsprobleme im Rahmen der Ergebnis- analyse	128
ZWEITER TEIL: Methoden der Kapazitätsplanung	132
3. Der Einsatz der Netzplantechnik zur Ermittlung und Abstimmung des Kapazitätsbedarfes	133
3.1. Die Ableitung der Programmfunktion mittels der Strukturanalyse	133
3.1.1. Strukturanalyse ohne Berücksichtigung technologischer Alternativen	134
3.1.2. Strukturanalyse mit Berücksichtigung technologischer Alternativen	137
3.2. Die Ermittlung der Zeiten bei der Termin- planung	138
3.2.1. Die Zeitermittlung für eine Aktivität	139
3.2.2. Die Zeitermittlung für ein Projekt	143
3.3. Die Erstellung von Faktorbelastungs- diagrammen	145
3.4. Anpassungsmöglichkeiten des Kapazitäts- bedarfes	147
3.4.1. Die Änderung der organisatorischen Reihenfolge	148
3.4.1.1. Die optimale Kombination von Ak- tivitäten	149

3.4.1.2. Die Verschiebung von Aktivitäten im Rahmen ihrer Pufferzeiten	151
A) Punktueller Modell	152
B) Periodisches Modell	158
3.4.1.3. Überlappung von Aktivitäten	160
3.4.2. Änderungen des technologischen Tätig- keitsablaufes	163
3.4.2.1. Änderung der Tätigkeitsdauer	163
3.4.2.2. Unterbrechung von Tätigkeiten	166
3.4.2.3. Verwendung alternativer Faktor- kombinationen	167
3.4.2.4. Externe Produktionsverlagerung	170
3.4.3. Verschiebung der Auftragsendtermine	171
3.5. Anpassungsmöglichkeiten des Kapazitäts- angebotes	172
3.5.1. Die intensitätsmäßige und die zeit- liche Anpassung	172
3.5.2. Die quantitative Anpassung	174
3.5.2.1. Die Veränderung des Potential- faktorbestandes	175
3.5.2.2. Die Variation der Personalzuordnung	176
3.6. Die Ermittlung eines optimalen Anpassungs- mix von Kapazitätsbedarf und Kapazitäts- angebot	180
3.6.1. Die Formulierung einer Zielfunktion	180
3.6.2. Die Zielwirkungen alternativer Lösungs- konzeptionen	183
4. Der Einsatz der Warteschlangentheorie zur Ab- stimmung der Leistungsquerschnitte	187
4.1. Produktions- und kostentheoretische Grund- lagen	187

4.1.1.	Produktionstheoretische Ableitung eines Warteschlangenmodells auf der Grundlage der Produktionsfunktion vom Typ C	188
4.1.2.	Die Definition der Kostenelemente in der Zielfunktion	195
	A) Potentialfaktorkosten	196
	B) Wartekosten	199
4.2.	Analytische Modelle	205
4.2.1.	Das einstufige Elementarmodell	206
4.2.2.	Erweiterung zum Mehrstufenmodell	209
4.3.	Simulationsmodelle	213
4.3.1.	Die Bestimmung der Auftragsfolge	214
4.3.2.	Die Warteschlangerdisziplin als Determinante des Systems	217
4.3.3.	Abstimmung der Leistungsquerschnitte durch quantitative Anpassung	219
5.	Optimale Verteilung der Produktionsfaktoren auf die Einheiten eines Betriebssystems	223
5.1.	Prämissen für das Auftreten des Verteilungsproblems und Formulierung der Ziele	224
5.2.	Die Konzipierung von Entscheidungsmodellen zur Lösung des dynamischen Verteilungsproblems	229
5.2.1.	Dynamisches Grundmodell ohne Begrenzung der Systemkapazität	230
5.2.2.	Modellvariante mit begrenzter Systemkapazität	234
5.2.3.	Modellvariante mit zeitlicher Verlagerung des Kapazitätsbedarfes	236
5.3.	Optimale Systemplanung bei stochastischen Störgrößen	241

DRITTER TEIL: Methoden der Kapazitätsbelegung	245
6. Die zeitliche Abstimmung bei der Fließfertigung	246
6.1. Produktionstheoretische Grundlagen	246
6.2. Formulierung einer Zielfunktion	252
6.3. Die Anpassungsmöglichkeiten von Kapazität und Kapazitätsausnutzung	255
7. Die Hauptdeterminanten der Kapazitätsbelegung bei der Werkstattfertigung	259
7.1. Die Planung der organisatorischen Reihenfolge	260
7.1.1. Zentrale Kapazitätsbelegung	262
7.1.2. Dezentrale Arbeitsverteilung	267
7.2. Die kurzfristige Losgrößenplanung	271
SCHLUSSBETRACHTUNG	276
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	281
LITERATURVERZEICHNIS	282

SYMBOLVERZEICHNIS

Liste der am häufigsten verwendeten Bezeichnungen

a_{iz}	tertiärer Verzehr der Faktorart i in Periode z
$b_{i(k)t(1)}$	Bedarf des Elementes i (nach Faktorart k) in Periode t (beim Produktionsprogramm 1)
b_{ks}	Produktionskoeffizient beim Übergang von Fertigungsstufe k nach Stufe s
B_{je}	Produktionskoeffizient beim Übergang von der E-Kombination j zur E-Kombination e
c	Taktzeit (Kapitel 6) c_p = produktiver Anteil der Taktzeit c_T = transportbedingter Taktzeitteil $c_{p,min}$ = minimale (produktive) Taktzeit
c_{jz}	Zahl der Fertigungslose der E-Kombinationsart j in Periode z
d_k	Ladefähigkeit eines Transportfahrzeuges in Einheiten der Faktorart k (Kapitel 5)
d_p	Periodendauer
$d_{jk}^{(1)}$	(spätest zulässige) Vorlaufzeit des Zwischenproduktes jk für eine Einheit der Endproduktart 1 $d_{jk}^{(1)}(u)$ = Vorlaufzeit, bezogen auf den Endproduktbedarf der Art 1 zum Zeitpunkt u $d_{jku}^{(1)}$ = Vorlaufzeit, bezogen auf den Endproduktbedarf der Art 1 in Periode u
$d_{(jk)}^N$	Dauer einer Netzplanaktivität (bestehend aus den E-Kombinationen jk) (Kapitel 3)
$d(j)$	Dichtefunktion für die Durchführung der j -ten E-Kombination (Kapitel 4)
$d_j(t_j)$	Dichtefunktion für die E-Kombinationszeit t_j

g_i	Zahl der Faktoreinheiten der Art i (Kapitel 4)
g_t	verfügbare Nutzzeit des Fuhrparkes (Kapitel 5)
$G_{(i)}$	Glättungskoeffizient (des Faktors i) (Kapitel 3)
$g_{je}^{(i)}$	quartäre Kombinationszeit, wenn beim Faktor i die E-Kombination e auf E-Kombination j folgt
$k_f^{(i)}$	Kostensatz einer Faktoreinheit der Art i (Kapitel 4)
$k_f^{(i)},$	Anteil des Nutzungsverzehrs an den gesamten Potentialfaktorkosten (Kapitel 4)
$k_{wI}^{(i)}$	Kostensatz für Lager- und Kapitalbindungskosten, bezogen auf die Wartezeit beim Faktor i (Kapitel 4)
$k_{wII}^{(i)}$	Kostensatz für Vertragsstrafen und Gewinnentgang, bezogen auf die Wartezeit beim Faktor i (Kapitel 4)
$L_o^{(i)}$	Leistungspotential eines (neuen) Potentialfaktors i (Kapitel 4)
$L_t^{(i)}$	Maximale Leistungsabgabe eines Faktors der Art i innerhalb einer Periode t (Kapitel 4)
n	Zahl der Stationen einer Fließstraße (Kapitel 6)
$\bar{n}^{(i)}$	Zahl der Aufträge, die bei einem Faktor (i) verweilen (incl. der in Bearbeitung befindlichen Aufträge) (Kapitel 4)
$\bar{n}_S^{(i)} (g_i)$	Zahl der Aufträge in der Warteschlange vor dem Faktor i als Funktion der Faktoreinheiten i (Kapitel 4)
$N_G^{(i)}$	Faktorlebensdauer des Faktors i bei Nutzungs- und Zeitverzehr (Kapitel 4)
$N_z^{(i)}$	Lebensdauer des Faktors i bei Zeitverzehr (Kapitel 4)
P_{kl}	Programmfunktion, d.h. für eine Einheit der Endproduktart l benötigte Zwischenproduktmenge der Stufe k
$q_{kp}^{(1), (2)}$	zulässige Abweichung der Kapazitätsquerschnitte der Faktorarten k und p (Kapitel 5)

$q_{kp}^{(3),(4)}$	zulässige kumulierte Abweichung der Kapazitätsquerschnitte der Faktorarten k und p (Kapitel 5)
$q_{jk}^{(1)}$	Durchführungsdauer für sämtliche Elementarkombinationen der Art jk, die für eine Einheit der Endproduktart 1 benötigt werden
$q_{jk}^{(1)u}$	Durchführungsdauer, bezogen auf den Endproduktbedarf der Art 1 zum Zeitpunkt u
$q_{jku}^{(1)}$	Durchführungsdauer, bezogen auf den Endproduktbedarf in Periode u
	$q_{jku}^{(1)-,+}$ = abgerundet bzw. aufgerundet
$q_{eu}^{(E)}$	Durchführungsdauer des Zwischenproduktbedarfes e in Periode u auf der Dispositionsstufe E
$Q_i^N(jk)$	Nutzzeitbedarf einer Netzplanaktivität (bestehend aus den E-Kombinationen jk) (Kapitel 3)
$r_i(j)$	Verzehr der Faktorart i (bei Vollzug der Elementarkombination j)
$\dot{r}_{ij}(z)$	Momentanverzehr zum Zeitpunkt z
r_{iz}	Faktorverzehr in der Periode z
$t_w^{(i)}$	Wartezeit eines Auftrages beim Faktor i (Kapitel 4)
$t_j(k)$	Durchführungszeit einer Elementarkombination der Art j auf Stufe k
T_{iN}	Nutzzeitbedarf bei der Faktorart i
$\dot{T}_{iN}(z)$	Faktorbedarf zum Zeitpunkt z
T_{izN}	Nutzzeitbedarf in der Periode z
$T_{izN}^{(Q)}$	Nutzzeitbedarf der quartären E-Kombinationen in der Periode z
$T_{i,max}$	maximal verfügbare Nutzzeit bei der Faktorart i
$\dot{T}_{i,max}(z)$	Faktorbestand zum Zeitpunkt z
$T_{iz,max}$	maximal verfügbare Nutzzeit in Periode z

v_{jk}	Verteilungsparameter der Zwischenprodukte der Stufe k auf die Elementarkombination j
$v_{jk}^{(1)u}$	Verteilungsfunktion, bezogen auf den Endproduktbedarf der Erzeugnisart 1 zum Zeitpunkt u
$v_{jku}^{(1)}$	Verteilungsfunktion, bezogen auf den Produktbedarf der Erzeugnisart 1 in Periode u
$v_{jku}^{(e)}$	Verteilungsfunktion, bezogen auf das Fertigungslos der Art e in Periode u
$w_j(k)$	Wiederholungsfunktion der E-Kombination j (auf Stufe k)
$w_{jk}^{p,s}$	primäre bzw. sekundäre Wiederholungsfunktion
$\dot{w}_{jk}(z)$	Wiederholungsgeschwindigkeit der E-Kombination j zum Zeitpunkt z (Prozesse/Zeiteinheit)
w_{jkz}	Wiederholungsfunktion in der Periode z
w_{jkz}^t	Wiederholungsfunktion in Periode z, bei Belastung mit kumuliertem Zwischenproduktbedarf
$w_{jku}^{(1)s}$	sekundäre Wiederholungsfunktion, bezogen auf den Endproduktbedarf der Art 1 in Periode u
x_{ijkt}	Zahl der Faktoreinheiten der Art k, die in Periode t vom Element i zum Element j verlagert werden (Kapitel 5)
x_{jk}	Zwischenproduktbedarf der Stufe k bei E-Kombination j
$\dot{x}_{jk}(z)$	Bedarfsgeschwindigkeit nach Zwischenprodukten jk zum Zeitpunkt z (Stück/Zeit)
$\dot{x}_{jk}^t(z)$	Bedarfsgeschwindigkeit bei kumulierter Bedarfsauflösung (alle Zwischenprodukte eines Auftrages fallen zum Zeitpunkt z an)
x_{jkz}	Zwischenproduktbedarf in der Periode z

$x_{jku}^{(1)}$	Zwischenproduktbedarf, bezogen auf den Endproduktbedarf der Art 1 in Periode u
$x_{jz}^{(E)}$	Zwischenproduktbedarf der Dispositionsstufe E in Periode z
x_1	Endproduktbedarf der Erzeugnisart 1
$\dot{x}_1(u)$	Bedarfsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt u
x_{1u}	Endproduktbedarf in Periode u
x'_{1u}	prognostizierter Endproduktbedarf in Periode u
$y_{j,E}^{(D)}$	Matrix zur Zuordnung der Elementarkombination j auf die Dispositionsstufe E
$y_{jk}^{(F)}$	Matrix zur Zuordnung der E-Kombinationen j auf die Fertigungsstufe k
$y_{jk}^{(1)}(z,u)$	Zuordnungsfunktion zur Ableitung des Termes z der Zwischenprodukte jk, die für den Endproduktbedarf der Art 1 zum Zeitpunkt u benötigt werden
$y_{jk}^{(1)'}(z,u)$	Zuordnungsfunktion bei kumulierter Bedarfsableitung
$y_{jkzu}^{(1)}$	Zuordnungsfunktion für die Periodenermittlung (z) der Zwischenprodukte jk, die für den Endproduktbedarf der Art 1 in Periode u benötigt werden
$y_{jkzu}^{(1)'}(z,u)$	Zuordnungsfunktion bei kumulierter Bedarfsableitung
$y_{jzu}^{E,H}$	Funktion zur Ableitung des Zwischenproduktbedarfes j der Dispositionsstufe E in Periode z aus dem Produktbedarf der Dispositionsstufe H in Periode u
$y_{je}^{(i,z)}$	Wiederholungszahl der quartären E-Kombination j ← e auf Faktor i in Periode z
y_{ijkt}	Zahl der Transportfahrten zur Beförderung der Faktorart k in Periode t vom Ort i nach Ort j (Kapitel 5)
z_{ikt}	Zahl der Faktoreinheiten der Art k am Ort i in Periode t
z_k	Wartezeit auf der Stufe k einer Fließstraße (Kapitel 6)

α_{jk}	Ausschußkoeffizient der E-Kombination j auf Stufe k
$\alpha_{jk}^{(1)}(u)$	Ausschußkoeffizient, bezogen auf den Endproduktbedarf der Art 1 zum Zeitpunkt u
$\alpha_{jku}^{(1)}$	Ausschußkoeffizient, bezogen auf den Endproduktbedarf der Art 1 in Periode u
β_{jk}	Outputniveau der E-Kombination j auf Stufe k
$\beta_{jk}(z)$	Outputniveau, bezogen auf den Zeitpunkt z
ϑ_{jk}	Auflagengröße bei der E-Kombination j auf Stufe k
$\vartheta_{jk}^{(1)}(u)$	Auflagengröße, bezogen auf den Endproduktbedarf der Art 1 zum Zeitpunkt u
$\vartheta_{jkz}^{(1)}$	Auflagengröße, bezogen auf den Endproduktbedarf der Art 1 in Periode z
$\vartheta_{j(k)z}$	Auflagengröße in der Periode z
ε_{ikt}	Ausfallrate der Faktorart k im Element i in Periode t (Kapitel 5)
γ_i	Anteil des Zeitverzehrs am Leistungspotential $L_o^{(i)}$ des Faktors i je Periode
ξ_k	Reparaturquote bei den ausgefallenen Einheiten der Faktorart k (Kapitel 5)
λ_j	durchschnittliche Ankunftsrate der E-Kombinationen j
μ_i	durchschnittliche Bedienungsrate des Faktors i
$\dot{\pi}_i(z)$	Faktorbedarf tertiärer E-Kombinationen zum Zeitpunkt z
π_{iz}	Nutzzeitbedarf tertiärer E-Kombinationen in der Periode z
ϑ_i	Kapazitätsauslastung des Faktors i
σ	Sicherheitskoeffizient
$\Psi_{tj}(t)$	Momentanbelegung eines Faktors als Funktion der E-Kombinationszeit
$\varphi_{tj}(t)$	Momentanverzehr eines Faktors als Funktion der E-Kombinationszeit

EINFÜHRUNG

Die moderne Betriebswirtschaftslehre sieht das ökonomische Handeln vornehmlich unter dem Aspekt der Willensbildung, welche initiativ die Phase der Willensdurchführung steuert. Kontrollinformationen sollen dem Entscheidungsträger einen "ge-regelten" Vollzug dieser Realisation gewährleisten.

In bestimmten Problemsituationen kann der Prozeß der Willensbildung durch mathematisch formulierbare Entscheidungsregeln - sie seien als operationsanalytische Verfahren¹⁾ bezeichnet - unterstützt werden. Die Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitungsanlagen, die diesen Methoden ein großes Anwendungsgebiet erschließt, hat die Konzipierung derartiger Modelle stark angeregt.

*

Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit stehen Entscheidungen über die Kapazität, deren betriebswirtschaftlicher Begriffsinhalt definiert wird als "das Leistungsvermögen einer wirtschaftlichen oder technischen Einheit - beliebiger Art, Größe und Struktur - in einem Zeitabschnitt"²⁾. Der Kapazitätsbegriff ist demnach organisatorisch und zeitlich zu konkretisieren.

Die technisch-organisatorische Relativierung läßt die Problematik bei der Ermittlung der Leistungsfähigkeit, die am mengenmäßigen Ergebnis des Produktionsprozesses gemessen werden soll, ersichtlich werden. Die Messung der quantitativen Kapazität ist nämlich bereits bei einer einzelnen Po-

1) In Anlehnung an Müller-Merbach wird der Begriff Operations Research soweit ausgelegt, daß hierunter sämtliche quantifizierenden Verfahren subsumiert werden können, unabhängig davon, ob sie auf streng algorithmischer oder heuristischer Basis vorgehen. Vgl. Müller-Merbach, H., Operations Research, 2. Auflage, München 1972, S. 1.

2) Kern, W., Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihre Ausnutzung, Köln und Opladen 1962, S. 27 (Zitierweise: Kapazitätsmessung).

tentialfaktoreinheit nur dann eindeutig durchführbar, wenn dieser Faktor lediglich eine Erzeugnisart zu erstellen vermag. Bei einer größeren qualitativen Kapazität ist eine outputunabhängige Maßgröße anzuwenden.³⁾ Erfordert die Leistungserstellung eine Kombination verschiedenartiger Potentialfaktoren, so wird die Kapazität dieser Organisationseinheit durch den leistungsschwächsten Faktor bestimmt.⁴⁾ Hierbei ist zu beachten, daß für eine derartige Kombination nicht mehr alleine die technisch-physische Kapazität der einzelnen beteiligten Faktoren ausschlaggebend ist, sondern als zusätzliche Faktoren die technische und die soziale Organisation wirksam werden.⁵⁾

Die Wahl des zeitlichen Bezuges bereitet der Kapazitätsbestimmung keine neuen Probleme, sofern die Arbeitszeit innerhalb dieses Zeitabschnittes vorgegeben ist.

Eine Zerlegung des wenig operationalen Kapazitätsbegriffes in seine Komponenten vermag die Entscheidungstatbestände, die er beinhaltet, zu verdeutlichen.

$$(E.1) \quad \text{Zeitraumkapazität} = \text{Momentankapazität} \cdot \frac{\text{Zeiteinheiten}}{\text{Zeitraum}}$$

$$(E.2) \quad \text{Momentan-} \quad = \quad \text{Kapazitäts-} \quad \cdot \quad \text{maximale Leistungs-} \\ \text{kapazität} \quad \quad \text{querschnitt} \quad \quad \text{geschwindigkeit}$$

In Gleichung (E.2)⁶⁾ geben der Kapazitätsquerschnitt die Zahl der Produktionseinheiten und die Leistungsgeschwindigkeit deren Intensität wieder. Über die Einführung der Arbeitszeit

3) Vgl. Heinen, E., Betriebswirtschaftliche Kostenlehre, 3. Auflage, Wiesbaden 1970, S.295 (Zitierweise: Kostenlehre).

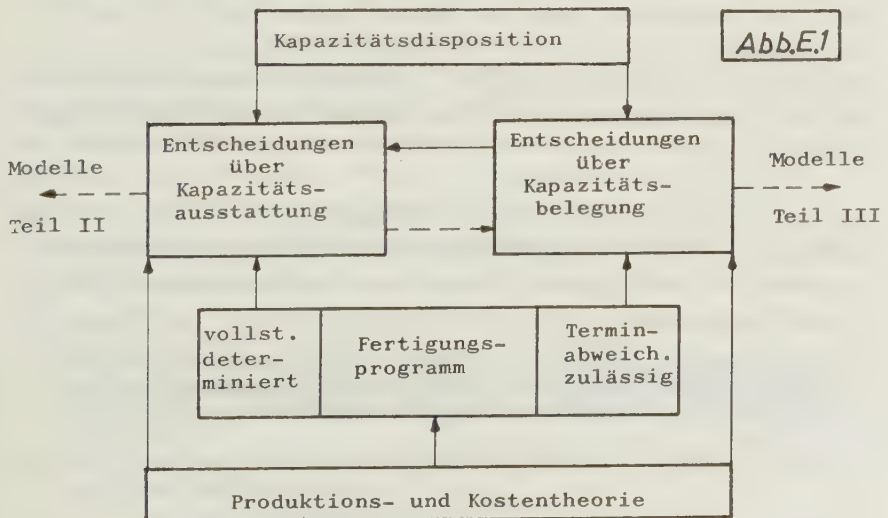
4) Kern setzt voraus, daß der Mensch stets in der Lage ist, die Betriebsmittel zu bedienen. Die Kapazitätsmessung orientiert sich dann alleine am Betriebsmittel. Vgl. Kern, W., Kapazitätsmessung, a.a.O., S. 38.

5) Vgl. Kern, W., Kapazitätsmessung, a.a.O., S. 111.

6) Vgl. ebenda, S. 32.

(Zeiteinheiten/Zeitraum) als dritte Komponente ist bei konstanter Organisation die Kapazität für einen gegebenen Zeitraum determiniert.

Der Begriff der Kapazitätsdisposition umfaßt sämtliche Entscheidungen, die einer dieser drei Kapazitätskomponenten - Zahl der Potentialfaktoreinheiten, arteigene Leistungsgrenze und Betriebszeit pro Zeitabschnitt - betreffen. Da die Entscheidung über die Kapazitätsausstattung untrennbar mit der Planung der Kapazitätsausnutzung verbunden ist, wird in den Dispositionsbegriff auch der prozessuale Aspekt der Kapazitätsbelegung einbezogen (Abb. E.1). Die Kapazitätsbelegung jedoch setzt voraus, daß das Fertigungsprogramm in seiner art- und mengenmäßigen sowie zeitlichen Dimension bekannt ist. Da dessen zielorientierte Festlegung wiederum die Kenntnis der Kapazitätsausstattung und -belegung erfordert, sind für eine streng optimale Lösung des Gesamtproblems die Kapazitätsausstattung, die Kapazitätsbelegung und die Programmplanung simultan festzulegen.



Die bisher zur Unterstützung der Kapazitätsdisposition entwickelten Modelle können wegen der komplexen Problemstruktur und des realen Datenumfanges diesem theoretischen Anspruch nicht gerecht werden. Vielmehr wird das Gesamtproblem in Entscheidungsbereiche dekomponiert, die in sukzessiver Folge optimiert werden.

Eine problemadäquate Dekomposition kann wegen der produktionstechnischen Eigenarten einzelner Unternehmen nicht generell, sondern nur tendenziell vorgenommen werden. Bei der typischen Aufgliederung wird in einem übergeordneten Entscheidungsbereich die optimale Kapazitätsausstattung ermittelt, wobei die Faktorbelegung durch unterstellte Verhaltensweisen (z.B. Prioritätsregeln) simuliert wird. Diese Simulation wird möglich, wenn entweder das Leistungsprogramm vollständig festgelegt ist oder die Auswirkungen alternativer Programme bekannt sind.⁷⁾ In beiden Fällen sind am Ende des formalen Lösungsprozesses die Kapazitätsausstattung und das Fertigungsprogramm fixiert.

In nachgeordneten Entscheidungsbereichen wird sodann bei gegebenen Kapazitäten die tatsächliche Kapazitätsbelegung festgelegt. Um bei Diskrepanzen zur unterstellten Belegung jederzeit eine zulässige Lösung zu gewährleisten, ist ein Ausgleichselement einzuführen. Die Lockerung der zeitlichen Fixierung des Leistungsprogrammes, die Abweichungen von der festgelegten Programmterminierung zuläßt, erfüllt diese Funktion (Abb. E.1).

Mit der Aufgliederung in Entscheidungsbereiche und der Anwendung von Entscheidungsmodellen werden "aus der Totalinterdependenz der Wirklichkeit abgegrenzte und übersehbare Teil-

7) In dieser Arbeit wird das Fertigungsprogramm als gegeben vorausgesetzt (Abb. E.1). Alternative Programme sind jedoch durch parametrische Variation erfaßbar.

zusammenhänge ... (ausgegliedert)"⁸⁾, um die hierin enthaltenen Gestaltungsmöglichkeiten zielorientiert abzustimmen. Ein rationaler Einsatz der Modelle im Rahmen der Entscheidungsfindung setzt voraus, daß die Isomorphie von Formal- und Realproblem nachweisbar ist. Dies kann nur auf der Basis eines umfassenden produktionstheoretischen Erklärungsmodells erfolgen, das selbst die Realität wirklichkeitsgetreu zu beschreiben vermag.

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, ein solches Erklärungsmodell zur Beurteilung konkreter Planungsmodelle zu entwickeln. Das Ergebnis dieser Bemühungen bildet eine Produktionsfunktion, die "im Rahmen eines Systems von Erklärungsgleichungen die Beziehungen zwischen dem Faktorverbrauch bzw. dem Faktorergebnis und deren Einflußgrößen"⁹⁾ darstellt. Die Erfordernis einer Berücksichtigung des Zeitaspekts innerhalb dieser Produktionsfunktion kann aus dem Wesen der Kapazitätsdisposition abgeleitet werden.¹⁰⁾

Die Bestimmung der Kapazität bildet ex definitione ein Zeitraumproblem, wobei sämtliche Variablen auf die gleiche Periode bezogen sind. Sie kann demgemäß in einer statischen Produktionsfunktion erfaßt werden.

Nun erfordert eine zulässige Produktionslösung, daß die geplante Kapazitätsausnutzung (Kapazitätsbedarf) die verfügbare Kapazität (Kapazitätsangebot) nicht übersteigt, wobei wegen der Variation der effektiven Leistungsintensität eine Durchschnittsbetrachtung kaum aussagefähig ist. Diese restriktive Kapazitätsbedingung ist daher nicht für einen Zeit-

8) Kosiol, E., Modellanalyse als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen, ZfhF 1961 (13), S. 319.

9) Stein, C., Zur Berücksichtigung des Zeitaspektes in der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie, Diss. München 1965, S. 12.

10) Vgl. die von Stein unternommene objektinduzierte Ableitung des Zeitkriteriums. Stein, C., a.a.O., S. 7.

raum, sondern für jeden Zeitpunkt sicherzustellen. Die Produktionsfunktion muß deshalb kontinuierlich oder diskontinuierlich auf den Zeitablauf projiziert werden. Bearbeitungszeiten und Wartezeiten bewirken hierbei, daß die Bedarfszeitpunkte der zusammengehörigen End- und Zwischenprodukte auseinanderfallen, so daß die funktional verknüpften Variablen einen unterschiedlichen zeitlichen Bezug aufweisen.

Die Einbeziehung des Zeitablaufes kann auch - zielorientiert - aus der Aufgabenstellung der Produktionstheorie begründet werden. Ihr fällt innerhalb der Betriebswirtschaftslehre die Erklärungsaufgabe zu, den "in Raum und Zeit fortschreitenden Arbeitsprozeß"¹¹⁾ auf disponierbare Tatbestände hin zu analysieren und die Auswirkungen ihrer alternativen Realisierung darzustellen. Die Kriterien zur Beschreibung dieser Auswirkungen können nur aus generellen Zielen abgeleitet werden, wobei bisher ausschließlich von einer erfolgsorientierten monetären Zielsetzung ausgegangen wird. Auf dieser Basis ist die Aufgabe der Produktionstheorie alleine darin gesehen worden, "eine mengentheoretische Fundierung jener betriebswirtschaftlichen Teiltheorien zu liefern"¹²⁾, die sich um eine optimale Erfolgsgestaltung bemühen. Diese Definition vermag jedoch diejenigen Erfolgskomponenten nicht zu erfassen, die ausschließlich durch die zeitliche Anordnung des "Throughputs" hervorgerufen werden. So werden z.B. Zinsen, Konventionalstrafen und dgl. folgerichtig als produktionstheoretisch nicht begründbar ausgeschlossen¹³⁾, wiewohl sie durch den zeitlichen Produktionsvollzug hervorgerufen werden. Ebenso kann eine derartig abgegrenzte Produktionstheorie keine Grundlage für die finanzwirtschaftlichen Teiltheorien abgeben, obwohl die Gestaltung der Nominalgüterströme in mehr

11) Kosiol, E., Einführung in die Betriebswirtschaft, Wiesbaden 1968, S. 100.

12) Stein, C., Zur Berücksichtigung des Zeitaspekts, a.a.O., S. 5.

13) Vgl. Pressmar, D., Die Kosten-Leistungs-Funktion industrieller Produktionsanlagen, Diss. Hamburg 1968, S. 8 Fußnote 1.

oder weniger fester Form an die Gestaltung des Produktionsvollzuges gekoppelt ist. Die Produktionstheorie vermag ihrer Aufgabe demnach nur dann vollständig gerecht zu werden, wenn sie den weiterführenden Teiltheorien sowohl ein mengen-theoretisches als auch ein zeittheoretisches Fundament liefert.

Zugleich mit der Einführung der Zeitablaufbetrachtung ist die Prämisse eines konstanten Potentialfaktorbestandes nicht mehr realitätsnah¹⁴⁾, da im Laufe der Zeit vorhandene Nutzungspotentiale aufgezehrt und neue beschaffen werden. Aufgrund der unvollkommenen Information über die Eigenschaften noch nicht entwickelter Potentialfaktoren erscheint die Ableitung eines "relevanten Ausstattungsbereiches" angebracht, in dem alle Potentialfaktoren enthalten sind, die dem Entscheidungsorgan zum Planungszeitpunkt für die Realisierung des Produktionsprogrammes zweckmäßig erscheinen. In gleicher Weise wie mit der Einführung des relevanten Planungshorizontes erhält somit die Produktionsfunktion einen entscheidungsträgerbezogenen Aspekt. Da jedoch nicht auf einen konkreten Entscheidungsträger Bezug genommen ist, wird die Allgemeingültigkeit der Produktionsfunktion nicht berührt. Die nicht unbedeutenden Entscheidungstatbestände der Anschaffung und Veräußerung, Inbetriebnahme und Stilllegung von Potentialfaktoren können somit in einem derartigen Erklärungsmodell erfaßt werden.

Die Unterstützung der Kapazitätsdisposition durch operationsanalytische Entscheidungsmodelle hat die Formulierung quantifizierbarer Zielfunktionen zur Voraussetzung. Da Oberziele

14) Stein hält diese Prämisse dennoch für zweckmäßig, da Änderungen des Potentialfaktorbestandes andere Konsequenzen bewirken als Variationen der Repetierfaktormengen. Diese Feststellung kann jedoch kein Argument dafür sein, den Entscheidungstatbestand der quantitativen Anpassung völlig zu vernachlässigen. Vgl. Stein, C., a.a.O., S.12.

für diese Entscheidungsbereiche nur begrenzt operational sind, müssen Ziel-Subziel-Ketten abgeleitet werden, die sowohl der Forderung nach Operationalität als auch nach Mittel-Zweck-Beziehung entsprechen. Die Konkurrenz bzw. Indifferenz dieser Bedingungen macht es unerlässlich, die jeweilige Zielfunktion daraufhin zu analysieren, inwieweit sie beide Forderungen erfüllt.

Kapazitätsentscheidungen beeinflussen den Produktionsvollzug unmittelbar in zwei Dimensionen, nämlich in seiner zeitlichen Anordnung und in seinem Faktorverzehr. Die Arbeit untersucht daher, inwieweit eine Reduktion dieser Kosten-Zeit-Problematik auf eine eindimensionale Zielfunktion, die den oben dargelegten Forderungen genügt, möglich ist.

In den meisten Fällen ersetzt das Entscheidungsmodell nicht die eigentliche Entscheidung, sondern wirkt als ein Element auf den Prozeß der Willensbildung ein. Die Vernachlässigung nicht-quantifizierbarer und informeller Ziele, die mangelnde Isomorphie von Formal- und Realproblem sowie unzutreffende Annahmen über das Verhalten der Menschen erfordern einen Entscheidungsprozeß zur Bewertung des Modellergebnisses. Umgekehrt ist es durch eine bewußte Gestaltung dieser Tatbestände möglich, das Entscheidungsmodell zu einem Mittel der Manipulation und somit einem Element der Willensdurchsetzung umzufunktionieren. Die Entscheidungstatbestände bei der Konzeption eines operationsanalytischen Modells bedürfen daher ebenso einer Untersuchung wie die Wertungsprobleme im Rahmen der Ergebnisanalyse.

*

Diese hier nur skizzierten Überlegungen bilden den Bezugsrahmen, von dem aus konkrete Planungsmodelle auf ihre Verbindung zur Produktions- und Kostentheorie analysiert, ihre Prämissen verdeutlicht und ihre Anwendbarkeit diskutiert werden.

Das Kapitel 1 der Arbeit beschäftigt sich mit der Ableitung einer dynamischen Produktionsfunktion, wobei zunächst die einzelnen Aufträge vollkommen isoliert disponiert werden. Im Anschluß hieran wird anhand typischer Fälle (Dispositionsstufenverfahren, marktorientierte Disposition, stochastische Disposition) die Dispositionsform als Determinante der Produktionsfunktion eingeführt. Mit Kapitel 2 wird sodann der Übergang zum Entscheidungsmodell vollzogen. Nach der Aufgliederung der Entscheidungsbereiche steht die Kosten-Zeit-Problematik im Vordergrund dieses Abschnittes. Die wert- und mengenmäßige Definition der Elemente einer eindimensionalen, kostenmäßigen Zielfunktion schließt dieses Kapitel ab.

Zur organisationalen Einordnung dieser Entscheidungsmodelle sind in einem darauf folgenden Exkurs die Entscheidungstatbestände bei der Modellkonzipierung und die Wertungsprobleme bei der Ergebnisanalyse verdeutlicht.

Aufbauend auf diesen grundsätzlichen Ausführungen werden für begrenzte Ausschnitte des Erklärungsmodelles konkrete Entscheidungsmodelle dargestellt, wobei jeweils dem Bezug zur vorher abgeleiteten Produktionsfunktion besondere Beachtung geschenkt wird.

Der zweite Teil der Arbeit behandelt ausgewählte Methoden der Kapazitätsplanung, die ausgehend von einem gegebenen Fertigungsprogramm eine zielorientierte Anpassung der zeitlichen Kapazitätsverteilung und deren Ausnutzung anstreben. In den ersten beiden Modellen werden die Kapazitäten eines Betriebes auf der Basis eines deterministischen und eines stochastischen Produktionssystems festgelegt. Das dritte Modell versucht sodann für eine Vielzahl deterministisch produzierender Betriebe, die durch Kapazitätsaustauschbeziehungen verbunden sind, die optimale Kapazitätsverteilung zu ermitteln.

Im dritten Teil schließlich wird versucht, für eine gegebene Kapazitätsausstattung eine zielgerichtete Faktorbelegung zu

erreichen, wobei jedoch zeitliche Abweichungen vom ursprünglichen Fertigungsprogramm zulässig sein müssen. Da wegen der fortschreitenden Spezifizierung in dieser Phase der Kapazitätsdisposition die Organisation des Produktionsvollzugs nicht mehr zu vernachlässigen ist, wird die Kapazitätsbelegung für die extremen Organisationstypen der Fließ- und Werkstattfertigung getrennt untersucht. Die Verbindung zur Produktionsfunktion wird auch hier herausgearbeitet.

ERSTER TEIL:

PRODUKTIONS- UND KOSTENTHEORETISCHE GRUNDLAGEN

Eine Produktionstheorie, die den Anspruch erhebt, "alle in Realität vorzufindenden technologischen Prozesse, die ihnen immanenten Freiheitsgrade und ihre komplexe zeitliche Struktur technisch fundiert erfassen zu können"¹⁾, muß in der Lage sein, zu jedem Zeitpunkt bzw. für jeden Zeitabschnitt die Auswirkungen autonomer Parameteränderungen prognostizieren zu können.

Ausgangspunkt der folgenden Untersuchung ist die Frage, inwieweit Kapazitätsrestriktionen in der Produktionsfunktion berücksichtigt sind bzw. berücksichtigt werden können, wobei das am weitest aufgegliederte Modell, der von Heinen entwickelte Typ C²⁾, zugrundegelegt wird. Heinen versucht den Produktionsprozeß so weitgehend in Teilprozesse aufzuspalten, daß für sie eine eindeutige Beziehung zwischen Faktorverbrauch, technisch-physikalischer Leistung und ökonomischer Leistung hergestellt werden kann.³⁾ Da diese Teilprozesse - sie werden als Elementarkombinationen bezeichnet - das Fundament der Produktionsfunktion bilden, muß ihr Begriffsinhalt klar abgrenzbar sein.

Soll zwischen Faktorverbrauch, technisch-physikalischer Leistung und ökonomischer Leistung ein eindeutiger Zusammenhang bestehen, so dürfen beim Vollzug der Elementarkombination keine Freiheitsgrade existieren, welche die Limitationalität von Faktorverbrauch und Kombinationszeit be-

1) Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 220.

2) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 220 ff. Zwar erweitert Kloock die Zahl der im Typ C erfaßbaren strukturellen Abhängigkeiten durch den Einbezug zyklischer Verknüpfungen, diese werden aber für die folgende Untersuchung des industriellen Produktionsprozesses als wenig relevant vernachlässigt. Vgl. Kloock, J., Zur gegenwärtigen Diskussion der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie und Kostentheorie, ZfB 1969 (39), 1. Ergänzungsheft S.49-89, hier S. 64 f.

3) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 220.

einträchtigen.⁴⁾ Nach Jobs⁵⁾ ist unter dieser Voraussetzung die Ableitung des Faktorverbrauches über die Momentanleistung - wie sie Heinen durchgeführt hat - nicht erforderlich, da der Faktorverbrauch direkt über die Kombinationszeit auf die ökonomische Leistung bezogen werden kann. Die erste Art der Verbrauchsbestimmung, die für die Konzipierung eines kontinuierlichen Produktionsmodelles⁶⁾ benötigt wird, stellt jedoch gleichfalls eine zulässige Methode dar, so daß der von Jobs gefolgerte Widerspruch zwischen der Definition der Elementarkombination und deren Verbrauchsermittlung nicht eingesehen werden kann.

Die eindeutige Beziehung zwischen Faktorverbrauch und Kombinationszeit ist nur gewahrt, solange die Verfahrensbedingungen des Kombinationsvollzuges vorgegeben sind. Ändert sich jedoch das Faktoreinsatzverhältnis und/oder das Outputniveau, so können deren Ausprägungen nur dann unter den Begriff der Elementarkombination subsumiert werden, wenn der Faktorverbrauch diesen Parametern (mittels isolierender Abstraktion) zurechenbar ist, da in diesem Fall die Eindeutigkeit zwischen Faktoreinsatz und ökonomischer Leistung erhalten bleibt. Lassen sich hingegen die Parameter nur gleichzeitig variieren, so sind die jeweiligen "Ausprägungskombinationen" als eigenständige Elementarkombinationen zu betrachten. Outputvariable und substitutionale Prozesse können auf derartige Weise im System dieser Produktionsfunktion erfaßt werden.⁷⁾

4) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 234 f. Anstatt der ökonomischen Leistung kann bei outputfixen Elementarkombinationen auch die Kombinationszeit eingesetzt werden.

5) Vgl. Jobs, H.G., Produktionsfunktionen und Produktionsmodelle, Diss. Regensburg 1969, S. 120.

6) Vgl. Kapitel 1.2. auf S. 21 dieser Arbeit.

7) Vgl. hierzu die Kritik von Jobs, der nur die Erfassung limitationaler Kombinationen als möglich erachtet. Jobs, H.G., a.a.O., S. 121 und S. 188.

Die theoretisch vollzogene Definition der Elementarkombination wird von Heinen insofern relativiert, als er für die konkret-rechnerische Anwendung anstatt eines eindeutigen Beziehungszusammenhanges von Faktorverbrauch und ökonomischer Leistung eine den jeweiligen Genauigkeitsanspruch zufriedenstellende Beziehung zuläßt. Eine derartige pragmatische Einschränkung soll und kann jedoch kein Kriterium für die Explikation eines theoretisch definierten Begriffsinhaltes sein.⁸⁾

Im weiteren Verlauf seiner Modellkonzeption systematisiert Heinen die Elementarkombinationen nach den Bestimmungsgrößen ihrer Wiederholungen. Während die primären Elementarkombinationen als eigentliche Bearbeitungsprozesse unmittelbar mit dem Fertigungsprogramm verbunden sind, die sekundären Elementarkombinationen hingegen über die Auflagengröße nur mittelbar, besteht zwischen den tertiären Elementarkombinationen und dem Fertigungsprogramm kein eindeutiger Zusammenhang. Das Fehlen bestimmbarer bzw. die Vernachlässigung vorhandener Einflußfaktoren ist der Grund, weswegen tertiäre Elementarkombinationen vom Entscheidungsträger meist in autonomen Willensakten festgelegt werden. Da infolgedessen durch den Vollzug dieser Elementarkombinationen eigenständige ökonomische Leistungen erbracht werden (z.B. Wartungsprozeß, Heizungsstunde), für die eine eindeutige Beziehung zum Faktorverbrauch durchaus herstellbar ist, muß die Kritik von Jobs, der diesen Kombinationstyp als systemfremd bezeichnet, als nicht gerechtfertigt erscheinen.⁹⁾

Da demnach die Definition der Elementarkombination auch auf den tertiären Wiederholungstyp zutrifft, kann dieser Einwand nur aus der traditionellen Aufgabenstellung der Produktionsfunktion begründet werden, nämlich eine Beziehung

8) Vgl. Jobs, H.G., a.a.O., S. 121.

9) Vgl. Jobs, H.G., a.a.O., S. 116.

zwischen Faktorverbrauch und Faktorertrag (sprich: Fertigprodukt) herzustellen.^{9a)} Hierbei wäre die tertiäre Elementarkombination in der Tat ein Fremdkörper, da sie keine ökonomische Leistung hervorbringen würde. Die vollkommene Zurechnung von Faktorverbrauch und Fertigprodukt - ein Requisit aus der Zeit des "Vollkostendenkens" - scheitert jedoch in vielen Fällen an dem erforderlichen Beziehungszusammenhang. Will man dennoch den nicht zurechenbaren Verbrauch erfassen, so muß die Produktionsfunktion den Zusammenhang zwischen dem Faktorverbrauch und sämtlichen Entscheidungstatbeständen des Produktionsvollzuges darstellen können. Die ökonomische Leistung ist dann das sachliche Ergebnis der (des) Kombinationsprozesse(s), die (der) durch die jeweilige Vollzugsentscheidung (z.B. Realisierung des Produktionsprogrammes, der Wartung, des Heizungsprozesses) verursacht worden sind (ist).

Wegen der exakt durchführbaren Aufgliederung in Teilprozesse bildet die Produktionsfunktion vom Typ C für die folgende Untersuchung der Kapazitätsdisposition die geeignete Ausgangsbasis. Zwar konnte sie selbst mangels adäquater Optimierungsmethoden noch nicht zu einem Entscheidungsmodell weiterentwickelt werden, sie bildet aber ein umfassendes Instrument für die Beurteilung konkreter Entscheidungsmodelle hinsichtlich ihrer produktionstheoretischen Fundierung.

Der Übergang zum Entscheidungsmodell erfordert neben dem Einsatz leistungsfähiger Entscheidungsverfahren die Formulierung operationaler Zielfunktionen. Der produktionstheoretischen Abhandlung schließt sich daher eine Analyse der Eignung monetärer, wertmäßiger und zeitlicher Ziele zur Disposition der Kapazitäten an. Die Definition der in der Zielfunktion enthaltenen Elemente ist Bestandteil dieser Analyse

9a) Vgl. hierzu auch: Klock, J., Betriebswirtschaftliche Input-Output-Modelle, Wiesbaden 1969, S. 12.

1. DIE FORMULIERUNG DER ENTSCHEIDUNGSTATBESTÄNDE AUF DER GRUNDLAGE DER PRODUKTIONSFUNKTION VOM TYP C

Eine produktionstheoretisch fundierte Abhandlung über die Abstimmung von Kapazitätsangebot und Kapazitätsbedarf setzt voraus, daß die zugrundeliegende Produktionsfunktion sämtliche relevanten Aktionsparameter enthält und die Auswirkungen ihrer Variation auf den zeitlich-räumlichen Produktionsvollzug wiederzugeben vermag. Die Prüfung, inwieweit die Produktionsfunktion vom Typ C dieser Anforderung genügt, zeigt die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung dieses Modelles auf, um auch die zeitlichen Freiheitsgrade bei der Gestaltung des Fertigungsablaufes erfassen zu können. Im Anschluß hieran werden die Entscheidungstatbestände eingehender dargestellt.

1.1. Die Berücksichtigung quantitativer Kapazitätsrestriktionen bei der Produktionsfunktion vom Typ C

Die Produktionsfunktion vom Typ C ermittelt den Gesamtverzehr r_i eines Faktors i innerhalb einer Planungsperiode als Summe der Verzehrsmengen r_{ij} bei einmaliger Durchführung der j -ten Elementarkombination multipliziert mit der Anzahl w_j der jeweiligen Wiederholungen.¹⁰⁾

$$(1.1) \quad r_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \cdot w_j$$

Dieses Gleichungssystem hat jedoch nur insoweit Gültigkeit, als die gegebenen quantitativen Kapazitäten zur Erfüllung

10) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 286 f. Der Verzehr tertiärer Elementarkombinationen wird vorläufig als nicht relevant vernachlässigt.

des Leistungsprogrammes ausreichen. Wendet man als Maßgröße für die Bestimmung der quantitativen Kapazität die verfügbare Nutzzeit der Potentialfaktoren an, so wird die erforderliche Nutzzeit T_{iN} des Potentialfaktors i durch dessen maximale Gesamtnutzzeit $T_{i,max}$ begrenzt.¹¹⁾

$$(1.2) \quad T_{iN} \leq T_{i,max}$$

Dieses System von Ungleichungen, das die Einhaltung der quantitativen Kapazitätsbeschränkungen zu gewährleisten hat, ist noch durch die Definition der Nutzzeit T_{iN} zu vervollständigen. Der Zeitraum τ_{ij} , in dem der Potentialfaktor i durch die j -te Elementarkombination belegt wird, kann als Funktion der Elementarkombinationszeit t_j ermittelt werden.

$$(1.3) \quad \tau_{ij} = f'_{ij}(t_j)$$

Die für einen Potentialfaktor i insgesamt erforderliche Nutzzeit ist dann analog (1.1), wie folgt, zu bestimmen.

$$(1.4) \quad T_{iN} = \sum_{j=1}^m \tau_{ij} \cdot w_j$$

Der Kapazitätsbedarf einer Periode wird demnach bei gegebenen Kombinationszeiten durch die Anzahl der innerhalb dieser Periode durchzuführenden Wiederholungen w_j der einzelnen Elementarkombinationen determiniert. Diese Wiederholungsfunktion ist bei primären Elementarkombinationen, welche die direkt von der Fertigungsproduktmenge abhängigen Bearbeitungsvorgänge symbolisieren, selbst wieder das Ergebnis von Koeffizienten und Aktionsparametern (1.5).¹²⁾

11) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 294 f.

12) Die Ableitung der Wiederholungsfunktion findet sich bei: Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 262 ff.

$$(1.5) \quad w_{jk} = \frac{v_{jk} \cdot \alpha_{jk}}{\beta_{jk}} \sum_{l=1}^S p_{kl} \cdot x_l \quad \text{wobei}$$

v_{jk} = Verteilungsparameter auf der k-ten Produktionsstufe

α_{jk} = Ausschußkoeffizienten der j-ten Elementarkombination auf der Stufe k

β_{jk} = Outputniveau der Elementarkombination j auf der Stufe k

p_{kl} = Programmfunktion. Sie beinhaltet die Zwischenproduktmenge, die auf der Stufe k für die Erzeugung einer Fertigprodukteinheit der Art l benötigt wird

x_l = innerhalb der Periode benötigte Menge der Fertigstellungsproduktart l

Alle in dieser Gleichung enthaltenen Variablen beziehen sich entweder auf die gleiche Periode oder sie weisen überhaupt keinen Zeitbezug auf. Damit kann diese Produktionsfunktion eindeutig den statischen Modellen zugeordnet werden.¹³⁾

Der Versuch, in einer statisch formulierten Produktionsfunktion die quantitativen Kapazitätsrestriktionen zu berücksichtigen, muß jedoch für den allgemeinen Teil scheitern, da ein statisches Modell den für die Kapazitätsbetrachtung erforderlichen Zeitzusammenhang nicht enthält. Lediglich bei zwei sehr speziellen Produktionsverhältnissen vermag auch ein derartiges Modell die Realität richtig zu beschreiben.

Fall 1: In Gleichung (1.5) werden die innerhalb einer Periode durchzuführenden Wiederholungen der Elementarkombination j aus dem Produktbedarf x_l der Erzeugnisart l abgeleitet. Da sich diese Produktionsmengen auf die gleiche Perio-

13) Zum Begriff der Statik und Dynamik sei hier nur erwähnt: Schneider, E., Einführung in die Wirtschaftstheorie II. Teil, 13. Auflage, Tübingen 1972, S. 270 f., bes. S. 273 f.; Förstner, K./Henn, R., Dynamische Produktionstheorie und lineare Programmierung, Meisenheim/Glan 1957, S. 12 f., sowie die Literaturübersicht bei Stein, C., Zur Berücksichtigung des Zeitaspekts ..., a.a.O., S. 15, Fußnote 2.

de beziehen, muß jene so groß gewählt werden, daß die maximale Durchlaufzeit der einzelnen Aufträge kleiner ist als die zugrundegelegte Kapazitätsperiode.¹⁴⁾ Zudem dürfen aus dem vorhergehenden Zeitabschnitt keine Elementarkombinationen mehr zu vollziehen sein. Nur unter diesen Prämissen ist es zulässig, die innerhalb einer Periode zu realisierende Wiederholungsfunktion w_j aus dem Endproduktbedarf X_1 derselben Periode abzuleiten. Die Folge dieser Bedingung wäre eine im Verhältnis zur Durchlaufzeit möglichst große Periodendauer.

Eine Zeitraumbetrachtung hat jedoch den Nachteil, daß unterschiedliche Kapazitätsauslastungen innerhalb einer Periode aufgrund der Durchschnittsbildung nicht erkannt werden können. So wären trotz rechnerischer Übereinstimmung von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot innerhalb einer Dispositionsperiode Über- und Unterdeckungen möglich, da die Kapazitätsbelegung ein Zeitpunktproblem ist und somit nur mittels einer "kontinuierlichen Zeitablaufbetrachtung"¹⁵⁾ exakt erfaßt werden kann. Will man die Kapazitätsbeschränkung dennoch näherungsweise in einer Periodenbetrachtung berücksichtigen, so wären die Planungszeiträume zur Wahrung der Aussagefähigkeit des Modells möglichst klein zu wählen.

Die Bedeutung des Widerspruches dieser beiden Forderungen wächst und schrumpft mit der Länge der Durchlaufzeit. Eine Auflösung erfährt er nur für den Fall der Momentanproduktion, deren Analyse auch mittels einer statischen Theorie

14) Eine Schwierigkeit ergibt sich daraus, daß die Durchlaufzeit auch sämtliche ablaufbedingten Wartezeiten enthält, die aber nur durch ein kontinuierliches Kapazitätsbelegungsmodell zu ermitteln sind. Da somit die Durchlaufzeit vom gesamten Fertigungsprogramm und dessen Ablaufplanung abhängt, ist sie bei Festlegung der Perioden noch gar nicht bekannt. Sie kann vielmehr nur geschätzt werden.

15) Vgl. Stein, C., Zur Berücksichtigung des Zeitaspekts ..., a.a.O., S. 83 f.

durchführbar ist. Sämtliche anderen Produktionsverhältnisse erfordern hingegen den Übergang auf eine dynamische Theorie.

Fall 2: Eine zweite Möglichkeit für die Anwendung statischer Modelle zur Analyse von Produktionssystemen bietet sich in der Untersuchung des stationären Zustandes an, wenn dieser für alternative Variablenkonstellationen zu beschreiben ist. Der stationäre Zustand ist dadurch gekennzeichnet, daß alle Variablen über der Zeit konstant und somit zeitunabhängig sind.¹⁶⁾ Ein derartiges Gleichgewichtsverhalten wird jedoch erst erreicht, wenn seit dem Zeitpunkt der letzten Datenänderung der für den Einschwingungsvorgang erforderliche Zeitraum abgelaufen ist, wobei dessen Dauer ceteris paribus von dem Ausmaß der Datenänderung und der Durchlaufzeit der Aufträge abhängig ist. Die statische Analyse ist daher nur zulässig, wenn

- "1) die Einflußgrößen nicht evolutorisch sind,
- 2) nicht gerade der Einschwingungsvorgang interessiert und
- 3) die Einschwingungsphase im Vergleich zu dem betrachteten Zeitraum der Untersuchung klein ist."¹⁷⁾

Da in der Realität das Fertigungsprogramm, die Determinanten des Produktionsprozesses sowie das Kapazitätsangebot häufig sowohl Trendentwicklungen als auch unregelmäßigen Schwankungen ausgesetzt sind, ist ein statisches Produktionsmodell auch für eine näherungsweise langfristige Kapazitätsanpassung nur begrenzt geeignet. Eine exakte Zustandsbeschreibung jedoch kann nur mittels eines dynamischen Produktionsmodells erfolgen.

16) Vgl. Schneider, E., Einführung in die Wirtschaftstheorie II. Teil, a.a.O., S. 271; Krelle, W., Preistheorie, Tübingen 1961, S. 537; Kloock, J., Betriebswirtschaftliche Input-Output-Modelle, a.a.O., S. 142.

17) Schmidt, R., Kapazitätsplanung in stochastischen Produktionssystemen, Meisenheim/Glan 1968, S. 20 (Zitierweise: Kapazitätsplanung).

Im Rahmen der Fertigungsablaufplanung, insbesondere bei der Kapazitätsterminierung, kommt der zeitlichen Gestaltung des Produktionsvollzuges die dominierende Rolle zu. Diese Bedeutung resultiert aus der Möglichkeit, Elementarkombinationen von Zeiten, in denen der Kapazitätsbedarf nicht gedeckt werden kann, auf andere Zeiten zu verschieben. Durch derartige Wartezeiten sowie durch die Bearbeitungszeiten wird ein "production time lag"¹⁸⁾ erzeugt, der die Bedarfszeitpunkte von End- und Zwischenprodukten auseinanderfallen läßt.

1.2. Die Formulierung einer dynamischen Produktionsfunktion

Die Beschreibung realer Produktionsprozesse und ihrer Gestaltungsinstrumente kann nur gelingen, wenn die durch den production time lag bedingten dynamischen Beziehungen explizit im Produktionsmodell enthalten sind. Es soll daher versucht werden, die Produktionsfunktion vom Typ C in dieser Hinsicht zu erweitern.

Da die Belegung der Kapazitäten ein Zeitpunktproblem darstellt, kann eine exakte Analyse nur auf der Basis eines kontinuierlichen Zeitablaufmodells vorgenommen werden. Wenn- gleich derartige kontinuierliche Modelle im Zusammenhang mit der Real-Time-Steuerung auch eine praktische Bedeutung erhalten, werden wegen des hiermit verbundenen Aufwandes sowie der Empfindlichkeit gegenüber Störungen in der Praxis jedoch fast durchwegs periodenbezogene Planungsmethoden angewandt.

Dementsprechend soll die Konzipierung der dynamischen Produktionsfunktion zuerst auf der exakteren Basis eines kon-

18) Lücke, W., Produktions- und Kostentheorie, Würzburg-Wien 1969, S. 123 f.

tinuierlichen Modelles erfolgen, während im Anschluß hieran die "operationälere" Form eines periodenbezogenen Modelles dargestellt wird.

A. Kontinuierliches Modell:

Die zeitliche Entwicklung $\dot{r}_{ij}(t)$ des Momentanverbrauches beim Faktor i während des Vollzuges der Elementarkombination j wird durch den Verlauf der Leistungsintensität bestimmt, aus der wiederum die jeweilige Kombinationszeit t_j resultiert. Graphisch kann der Momentanverbrauch durch das Zeitverbrauchsbild (Abb. 1.1.a), mathematisch durch die Gleichung (1.6) dargestellt werden.¹⁹⁾

$$(1.6) \quad \frac{dr_i}{dt} = \varphi_{t_j}(t) = \dot{r}_{ij}(t)$$

Läßt man die Möglichkeit zu, daß zu einem Zeitpunkt z mehrere gleichartige Elementarkombinationen in Bearbeitung sein können²⁰⁾, dann errechnet sich der momentane Faktorverbrauch $\dot{r}_{ij}(z)$ aus der Summe dieser Elementarkombinationen multipliziert mit dem Momentanverbrauch, der ihrem jeweiligen Bearbeitungszustand entspricht. Da bei kontinuierlicher Betrachtungsweise die Summenbildung durch das Integral ersetzt wird, ergibt sich folgender Formalausdruck (1.7).

19) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 247 f.

20) Hiermit wird die Prämisse aufgehoben, daß auf einer Potentialfaktoreinheit zu jedem Zeitpunkt nur eine Elementarkombination durchgeführt werden kann. Neben der Ausdehnung des zulässigen technologischen Bereiches (z.B. mehrstufige Aggregate, Durchlauflackierung) ist diese Vorgehensweise vor allem für eine Aggregierung der Produktionsfunktion (z.B. Zusammenfassung zu Potentialfaktorguppen) vorteilhaft.

Die Elementarkombinationszeit t_j kann selbst wiederum eine Funktion der Zeit sein. Um jedoch die Ableitung nicht zu komplex zu gestalten, wird t_j als konstant angenommen.

Ebenso wird der Verbrauch tertiärer Elementarkombinationen vernachlässigt.

$$(1.7) \quad \dot{r}_{ij}(z) = \int_{t=0}^{t=t_{jk}} \varphi_{t_{jk}}(t) \cdot \dot{w}_j(z+t_{jk}-t) \cdot dt \quad \text{wobei}$$

$\dot{w}_j(z) =$ Wiederholungsgeschwindigkeit der j-ten Elementarkombination

Diese mathematische Verknüpfung des Zeitverbrauchsbildes (Abb. 1.1.a) mit der Wiederholungsgeschwindigkeit (Abb. 1.1.b) wird durch die Zuordnung der Schnitte 1, 2 und 3 graphisch verdeutlicht. Zum Zeitpunkt z_1 muß sich der Zwischenproduktbedarf des Zeitpunktes z_1+dz im Bearbeitungszustand I befinden, der des Zeitpunktes z_2+dz im Zustand II und der des Zeitpunktes z_1+t_{jk} im Zustand III. Die Bearbeitung des später folgenden Produktbedarfes wird noch nicht begonnen. Für die Ermittlung des Momentanverbrauchs zum Zeitpunkt z ist somit über der Zeitverbrauchsfunktion von $t=0$ bis $t=t_{jk}$ zu integrieren, wobei diese jeweils mit der Wiederholungsfunktion vom Zeitpunkt $z+t_{jk}$ bis z multipliziert wird.

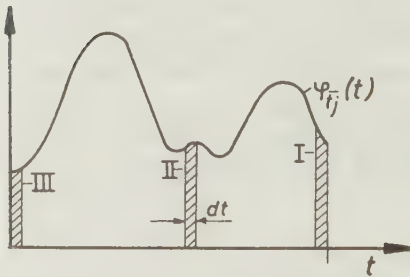


Abb.1.1.a

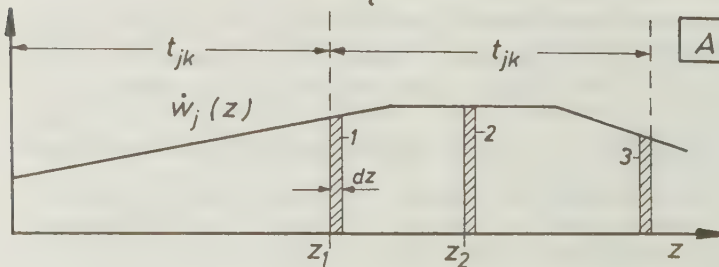


Abb.1.1.b

Nun gilt es, das dominierende Element der Produktionsfunktion, die Funktion der Wiederholungsgeschwindigkeit, zu definieren. Sie symbolisiert die pro Zeiteinheit durchzuführenden gleichartigen Elementarkombinationen. Analog zur Wiederholungsfunktion der statischen Produktionsfunktion²¹⁾ wird diese Geschwindigkeit bestimmt durch die Ausschußfunktion $\alpha_{jk}^{(1)}(u)$ ²²⁾, die Outputfunktion $\beta_{jk}(z)$ sowie die Bedarfsgeschwindigkeit $\dot{x}_{jk}(z)$ nach Zwischenprodukten der auf Produktionsstufe k zu vollziehenden Elementarkombinationsart j (1.8). Die zeitlichen Änderungen dieser Parameter bewirken bei der Wiederholungsgeschwindigkeit Beschleunigungen und Verzögerungen.²³⁾

$$(1.8) \quad \dot{w}_{jk}(z) = \dot{x}_{jk}(z) / \beta_{jk}$$

Die Bedarfsgeschwindigkeit an Zwischenprodukten $\dot{x}_{jk}(z)$ sowohl mengenmäßig als auch zeitlich aus der auf den Zeitpunkt u bezogenen Bedarfsgeschwindigkeit an Fertigprodukten $\dot{x}_1(u)$ abzuleiten, bildet das Kernproblem einer jeglichen dynamischen Produktionsfunktion.

21) Vgl. S. 17 dieser Arbeit.

22) Der Ausschuß ist eine risikobehaftete Größe, die als Störungsfunktion des Produktionssystems anzusehen ist. Da er nicht voraussehbar ist, kann nur mittels stochastischer Methoden a priori die Zahl der für einen Auftrag als erforderlich erachteten Zwischenprodukte festgelegt werden. Das Ergebnis dieses Prozesses ist ein Korrekturkoeffizient α_{jk} . Dieser Koeffizient wird im kontinuierlichen Modell^{jk} zu einer Korrekturfunktion $\alpha_{jk}^{(1)}(u)$, die sich auf den Zeitpunkt u der Endproduktgeschwindigkeit $\dot{x}_1$ bezieht. Vgl. Stein, C., a.a.O., S. 99 f.

23) Abweichend von der statischen Betrachtungsweise wird der Ausdruck $x_{jk} = v_{jk} \cdot x_k \cdot \alpha_{jk}$ eingeführt, da die zeitabhängige Verteilungsfunktion erst später miteinbezogen werden kann. Zugleich wird die Outputfunktion als konstant angenommen, was einer Beschränkung auf limitationale Elementarkombinationen gleichkommt.

Während die mengenmäßige Ableitung bereits von Heinen durch die Einführung der Programmfunktionen im Rahmen der statischen Theorie vollzogen worden ist²⁴⁾, steht deren terminierte Ableitung noch aus. Beide Komponenten aber, die in der Praxis häufig unter der Bezeichnung "Materialbewirtschaftung" und "Terminplanung" angewandt werden²⁵⁾, sind mit ihren wechselseitigen Abhängigkeiten theoretisch zu formulieren, um ein realitätsnahes Erklärungsmodell des Produktionsvollzuges zu erhalten.

Bei der Ableitung des terminierten Zwischenproduktbedarfes wird von einem Strukturbild ausgegangen, das die technologischen und organisatorischen Abhängigkeiten der einzelnen Fertigungsstufen einer Erzeugnisart graphisch wiedergibt (Abb. 1.2).²⁶⁾ Den zwischen den Stufen (k_s) bestehenden Beziehungen werden Produktionskoeffizienten b_{ks} zugeordnet, welche die Mengenrelationen des mehrstufigen Produktionssystems enthalten. Das "Mengengerüst" der Produktion ist somit festgelegt.

Das "Zeitgerüst" hat nun die Information zu liefern, um wie viele Zeiteinheiten vor dem Zeitpunkt des Endproduktbedarfes ($\dot{x}_1(u)$) die einzelnen Zwischenprodukte ($\dot{x}_{jk}(z)$) gefertigt sein müssen. Bei der Ableitung dieser Vorlaufzeitkoeffizienten wird von der letzten durchzuführenden Elementarkombination ($j=19$) ausgegangen, der eine Kombinationszeit von $t_{jk} = t_{19,1}$ zugeordnet ist. Die derivativen Produktions-

24) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 267 ff.

25) Haberfellner, R./Rutz, K., Integrierte Produktionssteuerung, in: Produktionsplanung und -steuerung, Zürich 1971, S. 5-34, hier S. 7.

26) Die Strukturbilder werden in gleicher Weise von Heinen verwendet. Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 262 f. und S. 267 f.

$b_{ks} = b_{4,1}$ Einheiten der Zwischenprodukte der Stufe 4 benötigt und verfügen die Elementarkombinationen über die Outputverhältnisse $\beta_{12,4}$ und $\beta_{13,4}$, so beansprucht die Durchführung der Elementarkombinationen den Zeitraum $q_{jk}^{(1)}$:²⁷⁾

$$(1.10) \quad q_{12,4}^{(1)} = \alpha_{12,4} \cdot b_{4,1} \frac{v_{12,4}}{\beta_{12,4}} \cdot t_{12,4}$$

$$(1.11) \quad q_{13,4}^{(1)} = \alpha_{13,4} \cdot b_{4,1} \frac{v_{13,4}}{\beta_{13,4}} \cdot t_{13,4}$$

Ist eine Überlappung zwischen den Produktionsstufen ausgeschlossen, dann müssen sämtliche Zwischenprodukte der vorangehenden Stufen gefertigt sein, bevor die nachfolgenden Produktionsprozesse begonnen werden können. Unter dieser Bedingung errechnet sich die Vorlaufzeit der Stufen $k = 8, 9, 10$ aus (1.12).

$$(1.12) \quad d_{7,8}^{(1)} = d_{6,8}^{(1)} = d_{11,9}^{(1)} = d_{10,10}^{(1)} = d_{9,10}^{(1)} = \\ = \alpha_{19,1} \cdot t_{19,1} + \text{MAX} \left[q_{12,4}^{(1)}, q_{13,4}^{(1)} \right]$$

Auf diese Weise können für sämtliche Elementarkombinationen auf allen Fertigungsstufen die Vorlaufzeitkoeffizienten $d_{jk}^{(1)}$ retrograd bestimmt werden. Sie fixieren jeweils den Zeitpunkt, in dem die Zwischenprodukte der j -ten Elementarkombination spätestens gefertigt sein müssen. Analog können in progressiver Richtung die Vorlaufzeitkoeffizienten $d_{jk}^{(1)}$ ermittelt werden. Sie geben den Zeitpunkt wieder, zu dem die

27) Es wird unterstellt, daß die Elementarkombinationen j in lückenloser Folge ausgeführt werden. Sind mehrere gleichartige Potentialfaktoren zu einer Gruppe zusammengefaßt, so können die Zwischenprodukte auf diese aufgeteilt werden. Die Kapazitätsbelegung innerhalb der Gruppe regeln dann zusätzliche gruppeninterne Verteilungsparameter.

Zwischenprodukte der j-ten Elementarkombination frühestens gefertigt sein können. Aus der Differenz beider Vorlaufzeitfunktionen lassen sich die Freiheitsgrade bei der zeitlich-organisatorischen Gestaltung des Produktionsvollzuges ersehen.

Die Ableitung der Vorlaufzeitfunktion $d_{jk}^{(1)}$ ist für eine Einheit der Endproduktart 1 vorgenommen worden. Sie kann somit als "Einheits-Vorlaufzeitfunktion" bezeichnet werden. Da jede Einheits-Vorlaufzeitfunktion Entscheidungen über Verteilungsparameter, Outputniveau und Kombinationszeiten beinhaltet, gibt es für jede Endproduktart 1, den Freiheitsgraden entsprechend, eine Schar dieser Funktionen.²⁸⁾

$$(1.13) \quad d_{jk}^{(1)} = f(p_{k1}; t_{jk}; v_{jk}; \beta_{jk}; \alpha_{jk}) \quad \text{wobei } p_{k1} = f(b_{ks})$$

Sollen mehrere Einheiten einer Fertigungsproduktart erstellt werden, so erhöht sich die Zwischenproduktmenge und somit die Durchführungsdauer q_{jk} der primären Elementarkombinationen auf den einzelnen Stufen um das Vielfache. Die Wiederholungen sekundärer Elementarkombinationen w_{jk}^s hingegen, die bei rein auftragsbezogener Disposition²⁹⁾ über die Auflagegröße y_{jk} mit der Endproduktmenge verbunden sind, variieren wegen der Ganzzahligkeitsbedingung auch bei konstanter Auflagengröße nicht proportional. Faßt man primäre und

28) Die Vorlaufzeitfunktion der Elementarkombination jk wird natürlich durch die Festlegung der Variablen sämtlicher Elementarkombinationen, die auf den zuvor disponierten Fertigungsstufen liegen, bestimmt. Die Indizierung der Variablen innerhalb dieser Funktion soll in vereinfachter Form zum Ausdruck bringen, daß hier ihre Fixierung bis zum Dispositionsobjekt jk relevant ist.

29) Die Annahme, daß sämtliche Aufträge einzeln disponiert werden sollen, wurde zur Ausklammerung des Losgrößenproblems eingeführt. Der Einbezug dieser Determinante erfolgt erst in Kapitel 1.3 dieser Arbeit.

sekundäre Elementarkombinationen zusammen, so errechnet sich deren Durchführungszeitraum q_{jk} aus (1.14).

$$(1.14) \quad q_{jk} = w_{jk}^p \cdot t_{jk}^p + w_{jk}^s \cdot t_{jk}^s \quad \text{wobei}$$

$$w_{jk}^p = x_{jk} / \beta_{jk}$$

$$w_{jk}^s = x_{jk} / (\beta_{jk} \cdot \gamma_{jk}) = \text{ganzzahlig}$$

$$t_{jk}^{p,s} = \text{primäre bzw. sekundäre Kombinationszeit}$$

Die Einheitsvorlaufzeitfunktion enthält also auch die Auflagengröße γ_{jk} , so daß sie die allgemeine Form (1.13a) annimmt.

$$(1.13a) \quad d_{jk}^{(1)} = f(p_{k1}; t_{jk}^{p,s}; v_{jk}; \beta_{jk}; \gamma_{jk}; \alpha_{jk})$$

Zieht man die Möglichkeit in Betracht, daß die Verteilungsparameter sowie die Ausschußkoeffizienten für jeden Produktionsauftrag unterschiedlich festgelegt werden können, dann ist die Vorlaufzeitfunktion für eine konkrete Bedarfsmenge nach der Erzeugnisart l zum Zeitpunkt u abhängig von deren Einheitsvorlaufzeit, der Auflagenfunktion $\gamma_{jk}^{(1)}(u)$, der Verteilungsfunktion $v_{jk}^{(1)}(u)$, der Ausschußfunktion $\alpha_{jk}^{(1)}(u)$ sowie dem Endproduktbedarf $\dot{x}_1(u)$:

$$(1.15) \quad d_{jk}^{(1)}(u) = f(d_{jk}^{(1)}; \gamma_{jk}^{(1)}(u); v_{jk}^{(1)}(u); \alpha_{jk}^{(1)}(u); \dot{x}_1(u))$$

Enthält die Erzeugnisart nur primäre Elementarkombinationen und bleibt die Verteilungsfunktion sowie die Ausschußfunktion konstant, so vereinfacht sich die Gleichung zu (1.16).

$$(1.16) \quad d_{jk}^{(1)}(u) = d_{jk}^{(1)} \cdot \dot{x}_1(u)$$

Mit diesem Instrumentarium der Vorlaufzeitfunktion kann nun der terminierte Zwischenproduktbedarf aus dem terminierten Bedarf an Endprodukten abgeleitet werden. Zu diesem Zweck ist zu jedem Zeitpunkt z zu prüfen, für welche künftigen Aufträge bereits Zwischenprodukte erstellt sein müssen. Da wegen der unterschiedlichen Vorlaufzeitfunktionen $d_{jk}^{(1)}(u)$ verschieden terminierte Aufträge der Erzeugnisart l einen gleich terminierten Zwischenproduktbedarf aufweisen können, ist für jeden Zeitpunkt z der gesamte künftige Endproduktbedarf zu untersuchen. Durch die Zuordnungsfunktion $Y_{jk}^{(1)'}(z,u)$ in Gleichung (1.17) werden daher auf der z -Zeitachse die Zeitpunkte markiert, zu denen die Zwischenprodukte einer Elementarkombination jk gefertigt sein müssen, die für den zum Zeitpunkt u auftretenden Bedarf nach der Endproduktart l benötigt werden.

$$(1.17) \quad Y_{jk}^{(1)'}(z,u) = \begin{cases} \dot{X}_1(u) & \text{für } u - d_{jk}^{(1)}(u) = z \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die Bedarfsgeschwindigkeit nach den durch die Elementarkombination j gefertigten Zwischenprodukten der Stufe k kann jetzt aus Gleichung (1.18) errechnet werden.³⁰⁾

$$(1.18) \quad \dot{x}_{jk}^l(z) = \sum_{l=1}^S \int_{u=z}^{\infty} p_{kl} \cdot \alpha_{jk}^{(1)}(u) \cdot v_{jk}^{(1)}(u) \cdot Y_{jk}^{(1)'}(z,u) \cdot du$$

Diese Bedarfsgeschwindigkeit kann jedoch noch nicht in die Wiederholungsfunktion (1.8) eingesetzt werden, da sie davon ausgeht, daß die einem Auftrag X_1 zugeordnete Zwischenproduktmenge der Stufe k zu einem Zeitpunkt - nämlich um die Vorlaufzeit verschoben - anfällt. Die Zwischenprodukte werden jedoch meist in Abständen von t_{jk} gefertigt werden. Un-

30) Die Integrationsgrenze symbolisiert den theoretischen Planungshorizont.

terstellt man für die j -te Elementarkombination auf Stufe k eine derartige diskrete Outputfunktion³¹⁾, so kann die Funktion der Durchführungsdauer dieser Elementarkombinationen aus (1.19) bestimmt werden.

$$(1.19) \quad q_{jk}^{(1)}(u) = \frac{\alpha_{jk}^{(1)}(u) \cdot v_{jk}^{(1)}(u)}{\beta_{jk}} t_{jk} \cdot p_{kl} \cdot \dot{x}_l(u)$$

Da nach jedem Zeitraum t_{jk} eine Zwischenproduktmenge in Höhe des Outputniveaus anfällt, finden insgesamt f Produktionsausstöße statt (1.20).

$$(1.20) \quad f = \frac{q_{jk}^{(1)}(u)}{t_{jk}}$$

Der gesamte Zwischenproduktbedarf $\dot{x}_{jk}'$ kann nun bereits über die Zuordnungsfunktion (1.21) in den outputgerechten Einzelbedarf $\dot{x}_{jk}$ aufgelöst werden.

$$(1.21) \quad Y_{jk}^{(1)}(z, u) = \begin{cases} \beta_{jk} & \text{für } u - d_{jk}^{(1)}(u) - t_{jk} \cdot e = z \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

wobei $e = 0, 1, \text{ bis } f-1$

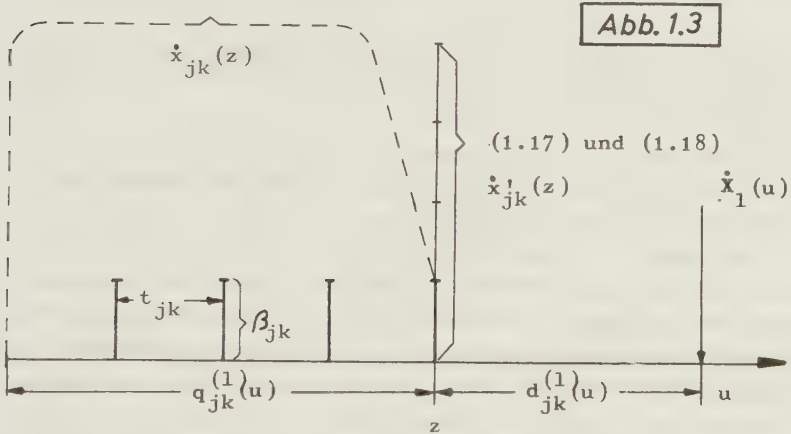
Durch die gegenüber (1.17) abgeänderte Zuordnungsfunktion (1.21) wird die derart aufgelöste Bedarfsgeschwindigkeit durch folgenden vereinfachten Formalausdruck (1.22) wiedergegeben:

$$(1.22) \quad \dot{x}_{jk}(u) = \sum_{l=1}^s \int_{u=z}^{\infty} Y_{jk}^{(1)}(z, u) \cdot du$$

31) Die folgende Ableitung der Outputfunktion unterstellt, daß nur primäre Elementarkombinationen enthalten sind. Enthält die Elementarkombination auch einen sekundären Anteil, so sind diese Elemente innerhalb der Durchführungsdauer zeitlich zu fixieren. Die Zuordnungsfunktion erhält dadurch eine komplexere Form.

In Abb. 1.3 ist diese Bedarfsauflösung graphisch dargestellt. Ausgehend vom Zeitpunkt u des Endproduktbedarfes wird über die Vorlaufzeit $d_{jk}^{(1)}(u)$ der Bedarfszeitpunkt z der gesamten Zwischenproduktmenge ($\dot{x}'_{jk}(z)$) bestimmt. Dieser kumulierte Bedarf wird sodann über dem Durchführungszeitraum $q_{jk}^{(1)}(u)$ retrograd in den outputgerechten Bedarf ($\dot{x}_{jk}(z)$) zerlegt.

Funktionen (1.21) und (1.22)



Neben dieser diskreten Outputfunktion können ohne besondere Schwierigkeiten auch kontinuierliche Outputfunktionen in die Produktionsfunktion miteinbezogen werden. Führt man die Outputfunktion demgemäß als Determinante der Bedarfsgeschwindigkeit ein, so kann deren Funktion in allgemeiner Form wie folgt formuliert werden.³²⁾

$$(1.23) \quad \dot{x}_{jk}(u) = f(d_{jk}^{(1)}(u); \dot{x}_1(u); \alpha_{jk}^{(1)}(u); v_{jk}^{(1)}(u); \text{Output-funktion})$$

Mit dieser Ableitung ist nun die Wiederholungsgeschwindigkeit (1.8) und somit auch die Produktionsfunktion (1.7) des

³²⁾ Mit $q_{jk}^{(1)}$ wird natürlich auch $d_{jk}^{(1)}$ abhängig von der Outputfunktion.

kontinuierlichen Modells definiert. Für die kapazitive Nebenbedingung gilt es noch, die Momentanbelegung des Potentialfaktors i durch eine Elementarkombination der Art j festzulegen (1.24). Diese ist analog (1.6) abhängig von der Kombinationszeit t_j .³³⁾

$$(1.24) \quad \dot{\tau}_i(t) = \frac{d\tau_i}{dt} = \Psi_{\tau_j}(t)$$

Der gesamte momentane Potentialfaktorbedarf folgt dann analog (1.7) aus (1.25).

$$(1.25) \quad \dot{T}_{iN}(z) = \sum_{j=1}^m \sum_{t=0}^{\bar{t}_j} \Psi_{\tau_j}(t) \cdot \dot{w}_j(z+t_j-t) \cdot dt + \dot{\pi}_i(z)$$

Da der Potentialfaktorbestand begrenzt ist, darf dessen zeitliche Verfügbarkeitsfunktion $\dot{T}_{i,max}$ nicht überschritten werden.³⁴⁾ Für jeden Zeitpunkt ist daher die Bedingung (1.26) zu gewährleisten.

$$(1.26) \quad \dot{T}_{iN}(z) \leq \dot{T}_{i,max}(z)$$

33) Besteht die Potentialfaktorart i aus einer Einheit, so nimmt $\dot{\tau}_i(t)$ in der Regel nur den Wert "1" oder "Null" an (Ausnahme vgl. Kapitel 3.4.1.1. dieser Arbeit). Sind hingegen mehrere gleiche Faktoren zu einer Gruppe i zusammengefaßt, so gibt $\dot{\tau}_i(t)$ die in Anspruch genommene Zahl von Faktoreinheiten an. Vgl. Fußnote 27 S. 26 dieser Arbeit.

34) Bei einem einzelnen Faktor nimmt die Verfügbarkeitsfunktion $\dot{T}_i(z)$ während der Betriebszeit den Wert "1" und $\dot{T}_{i,max}$ ansonsten den Wert "Null" an. Bei Potentialfaktorgruppen ändert sich der Wert entsprechend den jeweiligen Verfügbarkeitsentscheidungen. Der Ausdruck $\dot{\pi}_i(z)$ enthält die durch tertiäre Elementarkombinationen verursachte Faktorbelegung.

Übertrifft jedoch der Kapazitätsbedarf $\dot{T}_{iN}$ das Kapazitätsangebot $\dot{T}_{i,max}$, so ist durch eine wirksame Änderung der Aktionsparameter wieder eine zulässige Produktionssituation herzustellen. Ein Verfahren für eine zielgerechte Abstimmung dieser Variablen kann jedoch nur ein Entscheidungsmodell enthalten.

B. Periodenbezogenes Modell:

Die kontinuierliche Betrachtung vermag zwar das Kapazitätsphänomen exakt wiederzugeben, der Aufwand für Datenerfassung und -verarbeitung ist allerdings erheblich. Da zudem eine Menge von Daten Risiken unterliegt, wäre das Modell durch eine kontinuierliche Produktions-Kontrolle zu ergänzen. Jede Abweichung von den zugrundegelegten Ausgangsdaten erforderte sodann eine Neuberechnung der abhängigen Variablen.

In der Realplanung bedient man sich daher meist der Periodenanalyse, die zwar wegen der Durchschnittsbetrachtung Kapazitätsüber- und -unterbelastungen innerhalb der Periode nicht auszuschließen vermag, aber dafür eines erheblich geringeren Aufwandes bedarf. Da Abweichungen in der Regel erst am Ende einer Periode erfaßt werden, vermindert sich die Zahl der Neuberechnungen (Planungsfrequenz). Störungen innerhalb einer Periode werden meist der Dispositionsbefugnis dezentraler Fertigungsstellen überlassen. Daneben kann die Genauigkeit der Planung - damit allerdings auch der Planungsaufwand - durch die Wahl der Periodendauer gesteuert werden.³⁵⁾

35) Die Aufgliederung der Periodendauer ist mit der Genauigkeit der anderen Daten abzustimmen (Aufgliederung in Elementarkombinationen und in Faktorguppen, Erfassung der sonstigen Daten usw.). Wegen des hierdurch verursachten Aufwandes stellt sie selbst ein Optimierungsproblem dar, wobei die Periodendauer für die Planung des Kapazitätsangebotes, des Kapazitätsbedarfes und für die Fertigungsprogrammplanung zwar abgestimmt, aber nicht gleichlang sein muß.

Symbolisiert X_{lu} die Bedarfsmenge der l-ten Endproduktart zum Ende der Periode u, $v_{jku}^{(1)}$ den auftragsbezogenen Verteilungsparameter und $\alpha_{jku}^{(1)}$ den zugehörigen Ausschußkoeffizienten, so kann mit der in Perioden ausgedrückten Vorlaufzeitfunktion $d_{jku}^{(1)}$ der Endproduktbedarf analog (1.17) und (1.18) in den kumulierten, terminierten Zwischenproduktbedarf x'_{jkz} aufgelöst werden.

$$(1.27) \quad Y_{jkzu}^{(1)'} = \begin{cases} X_{lu} & \text{für } u - d_{jku}^{(1)} = z \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$(1.28) \quad x'_{jkz} = \sum_{l=1}^S \sum_{u=z}^{\infty} p_{kl} \cdot \alpha_{jku}^{(1)} \cdot v_{jku}^{(1)} \cdot Y_{jkzu}^{(1)'}$$

Die Auflösung dieses kumulierten Zwischenproduktbedarfes mittels einer Outputfunktion kann bei der Periodenbetrachtung wegen der Durchschnittsbildung entfallen, wenn die Produktion innerhalb der Periode z gewährleistet ist. Ist jedoch der Fertigungszeitraum größer als die Periodendauer, so ist der Zwischenproduktbedarf x'_{jkz} den entsprechenden Perioden anteilig zu belasten.³⁶⁾ Der auftragsbezogene Durchführungszeitraum der Elementarkombination jk errechnet sich hierbei aus Gleichung (1.29).

$$(1.29) \quad q_{jku}^{(1)} = \frac{p_{kl} \cdot X_{lu} \cdot v_{jku}^{(1)} \cdot \alpha_{jku}^{(1)}}{\beta_{jk} \cdot d_p} \cdot t_{jk} \quad \text{wobei}$$

$d_p = \text{Periodendauer}$

36) Die folgende Ableitung unterstellt, daß nur primäre Elementarkombinationen enthalten sind. Vgl. Fußnote 31, S. 30 dieser Arbeit.

Die zu ganzen Perioden auf- und abgerundeten Werte des Bearbeitungszeitraumes (1.29) lauten:

$$q_{jku}^{(1)+} = q_{jku}^{(1)} \quad \text{aufgerundet}$$

$$q_{jku}^{(1)-} = q_{jku}^{(1)} \quad \text{abgerundet}$$

Zur Verteilung des Kapazitätsbedarfes auf die einzelnen Perioden wird unterstellt, daß die Zwischenprodukte bis zum Ende der Periode gefertigt sein müssen, in die der kumulierte Bedarfszeitpunkt gemäß (1.27) fällt.³⁷⁾ Diese Periode steht somit noch in voller Länge der Fertigung zur Verfügung. Mit diesen Annahmen kann eine neue Zuordnungsfunktion $Y_{jkzu}^{(1)}$ formuliert werden, die bereits die anteilige Belastung der einzelnen Perioden festlegt (1.30).

$$(1.30) \quad Y_{jkzu}^{(1)} = \begin{cases} x_{lu} \cdot \frac{d}{t_{jk}} & \text{für } z > e > z - q_{jku}^{(1)+} \\ x_{lu} \cdot (q_{jku}^{(1)} - q_{jku}^{(1)-}) \cdot \frac{d}{t_{jk}} & \text{für } e = z \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

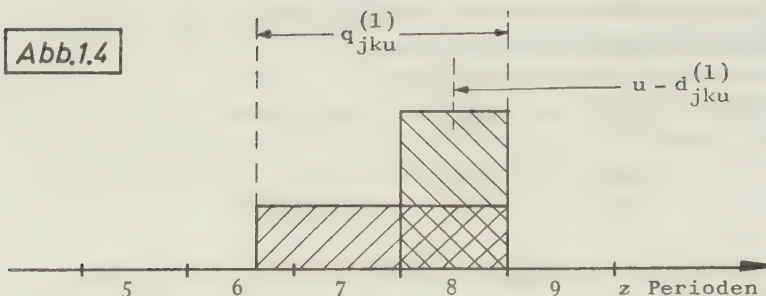
wobei $e = u - d_{jku}^{(1)} - q_{jku}^{(1)-}$

Die Zuordnungsfunktion (1.30) ermöglicht es nun, für jede Periode die zu fertigende Zwischenproduktmenge x_{jk} (1.31) zu berechnen. Abbildung 1.4 stellt die beiden Varianten der gänzlichen (1.28) und anteiligen (1.31) Kapazitätsbelastung graphisch gegenüber.

$$(1.31) \quad x_{jkz} = \sum_{l=1}^s \sum_{u=z}^{\infty} p_{kl} \cdot v_{jku}^{(1)} \cdot \alpha_{jku}^{(1)} \cdot Y_{jkzu}^{(1)}$$

37) Ebenso kann jede andere Verteilungsannahme eingeführt werden. Hierdurch ändert sich dann jeweils die Zuordnungsfunktion.

Abb. 1.4



Mit der Ableitung der terminierten Zwischenproduktmengen $x_{j k z}$ kann auch die Wiederholungsfunktion für primäre Elementarkombinationen definiert werden (1.32).

$$(1.32) \quad w_{j k z} = x_{j k z} / \beta_{j k}$$

Läßt man die im kontinuierlichen Modell unterstellte Prämisse weiterbestehen, daß sämtliche Aufträge einzeln disponiert werden sollen, so ist mit der auftragsbezogenen AufLAGengröße $\mu_{j k u}^{(1)}$ auch die auftragsbezogene Wiederholungsfunktion für sekundäre Elementarkombinationen bestimmbar (1.33).

$$(1.33) \quad w_{j k u}^{(1), s} = \frac{x_{j k u}^{(1)}}{\beta_{j k} \cdot \mu_{j k u}^{(1)}} = \text{ganzzahlig, wobei}$$

$$x_{j k u}^{(1)} = p_{k l} \cdot \alpha_{j k u}^{(1)} \cdot v_{j k u}^{(1)} \cdot x_{l u}$$

Durch das Hinzukommen dieser sekundären Elementarkombination wird der auftragsbezogene Durchführungszeitraum $q_{j k u}^{(1)}$ analog (1.14) verlängert.³⁸⁾

38) Da dieser Durchführungszeitraum auch in die Vorlaufzeitfunktion eingeht, wird diese natürlich entsprechend abgewandelt.

$$(1.34) \quad q_{jku}^{(1)} = (w_{jku}^p \cdot t_{tk}^p + w_{jku}^s \cdot t_{jk}^s) \cdot \frac{1}{d_p} \quad \text{wobei}$$

$$w_{jku}^p = \frac{x_{jku}^{(1)}}{\beta_{jk}} \quad \text{und} \quad w_{jku}^s = -\frac{x_{jku}^{(1)}}{\beta_{jk} \cdot \mu_{jku}^{(1)}} = \text{ganzzahlig}$$

$$t_{jk}^{p,s} = \text{primäre bzw. sekundäre Kombinationszeit}$$

Eine neue Zuordnungsfunktion hat nun zu gewährleisten, daß die primären und sekundären Elementarkombinationen termingerecht den Kapazitäten belastet werden. Bei einer kumulierten Periodenbelastung analog (1.27) und (1.28) ergäbe sich folgende periodenbezogene sekundäre Wiederholungsfunktion:³⁹⁾

$$(1.35) \quad w_{jkz}^{s'} = \frac{1}{\beta_{jk}} \sum_{l=1}^s \sum_{u=z}^{\infty} \frac{\alpha_{jku}^{(1)} \cdot v_{jku}^{(1)}}{\mu_{jku}^{(1)}} \cdot p_{kl} \cdot y_{jkzu}^{(1)'}$$

Mit diesen Wiederholungsfunktionen kann das periodenbezogene Modell der dynamischen Produktionsfunktion formuliert werden. Unterstellt man noch, daß der Faktorverbrauch $r_{ij} = f_{ij}(t_j)$ gleichmäßig über der Kombinationszeit anfällt - diese näherungsweise Annahme sei bei der Durchschnittsbetrachtung zulässig -, dann nimmt die Produktionsfunktion die Form (1.36) an.⁴⁰⁾

$$(1.36) \quad r_{iz} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r r_{ij} \cdot w_{jkz} + a_{iz}$$

39) Bei einer anteiligen periodenmäßigen Belastung wäre dieser Kapazitätsbedarf analog (1.30) zu verteilen. Die Zuordnungsfunktion wird jedoch wegen der mehrmaligen Hintereinanderreihung primärer und sekundärer Kombinationen (z.B. S-P-S-P-S-P) ziemlich komplex. Sie wird daher hier nicht mehr dargestellt.

40) Die Größen a_{iz} und π_{iz} symbolisieren den Faktorverbrauch bzw. iz den iz Nutzzeitbedarf der zeitabhängigen tertiären Elementarkombinationen.

Die quantitative Kapazitätsrestriktion wird entsprechend (1.37) definiert, wobei $T_{iz,max}$ die in der Periode z maximal verfügbare Nutzzeit des Potentialfaktors i wiedergibt.⁴¹⁾

$$(1.37) \quad T_{izN} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r \tau_{ij} \cdot w_{jkz} + \pi_{iz} \leq T_{iz,max}$$

Die bisherige Ableitung der dynamischen Produktionsfunktion basiert auf einer streng auftragsbezogenen Fertigungsdisposition, bei der jeder Auftrag als eine isolierte Einheit betrachtet wird. Die für einen Fertigungsauftrag deterministisch abgeleitete Zwischenproduktmenge kann zwar in Auflagengrößen zergliedert werden, diese Teilmengen sind aber zeitlich aneinandergereiht zu fertigen. Es können somit nur die sekundären Elementarkombinationen erfaßt werden, die eine Aufgliederung der auftragsbezogenen Zwischenproduktmenge erforderlich machen (z.B. Werkzeugverschleiß). Eine Zusammenfassung mehrerer Zwischenproduktmengen zu Fertigungslosen ist jedoch nicht zulässig.

Der Anspruch, den technisch-organisatorischen Produktionsprozeß umfassend darstellen zu können, erfordert daher die Eingliederung der Dispositionsform als Determinante der Produktionsfunktion.

1.3. Die Dispositionsform als Determinante der Produktionsfunktion

Die rein auftragsbezogene Fertigungsablaufplanung, bei der für jeden Auftrag die Zwischenproduktmengen als selbständige Loseinheiten gefertigt werden, ist lediglich ein Spezial-

41) Im periodenbezogenen Modell dürfte es zweckmäßig sein, bei den durch die Elementarkombinationen belegten Potentialfaktoren $\tau_{ij} = t_{jk}$ zu setzen, da auch bei abweichender Belegungs- $i_{j=}$ $_{jk}$ dauer diese meist nicht anderweitig nutzbar ist. Die erforderliche Nutzzeit T_{izN} würde sonst zu niedrig ausfallen.

fall unter den möglichen Dispositionsformen. In der Realität wird vielmehr häufig versucht, gleichartige Zwischenprodukte unterschiedlicher Aufträge zu einem Los zusammenzufassen, um so die Anzahl sekundärer Elementarkombinationen zu vermindern. Die Disposition nach Fertigungsstufen geht in eine Bedarfsauflösung nach Dispositionsstufen über.⁴²⁾ Die hieraus resultierende zeitliche Verteilung des gleichartigen Zwischenproduktbedarfes wird zu Losen zusammengefaßt, wobei diese als eigenständige Aufträge gefertigt werden.⁴³⁾

Die nächste Stufe in der Emanzipation der Produktion von der zugrundegelegten Auftragsentwicklung ist bei einer marktorientierten⁴⁴⁾ Bedarfsdisposition erreicht. Hier können auch die lagerfähigen Endprodukte in Loseinheiten gefertigt werden, die vom Periodenbedarf verhältnismäßig unabhängig sind. Die Freiheitsgrade werden noch erhöht, wenn der Zwischenproduktbedarf nicht mehr deterministisch über die Programmfunktionen abgeleitet wird, sondern aufgrund stochastischer Funktionen disponiert wird.

Die statische Produktionsfunktion vom Typ C vermag zwar - unter den einschränkenden Bedingungen des Kapitels 1.1. - die Zahl der sekundären Elementarkombinationen in Abhängigkeit von der Auflagengröße zu bestimmen⁴⁵⁾, die zeitlichen

42) Vgl. Lipka, A., Organisation der Datenverarbeitung für die Fertigung, München-Wien 1967, S. 24.

43) Voraussetzung ist die Lagerfähigkeit der Zwischenprodukte.

44) Zu den Begriffen marktorientiert und auftragsorientiert vergleiche: Gutenberg, E., Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Band I: Die Produktion, 18. Auflage, Berlin-Heidelberg-New York 1971, S. 165 (Zitierweise: Produktion).

45) Wobei jedoch zu ergänzen ist, daß die Größe entweder ganzzahlig aufzurunden (z.B. bei Rüstvorgängen) oder abzurunden (z.B. bei Wartungsprozessen) ist.

Wirkungen (Kapazitätsbelegung, Lagerhaltung) alternativer Losgrößen kann sie jedoch nicht erfassen, so daß sie für diesbezügliche Entscheidungsmodelle keine Grundlage abgibt. Zudem ist eine statische Funktion ex definitione nicht in der Lage, Elementarkombinationen zu erfassen, die bei einem Potentialfaktor durch die zeitliche Reihung unterschiedlicher primärer Elementarkombinationen (Sortenwechsel)⁴⁶⁾ verursacht werden. Schließlich ist die Produktionsfunktion nur für eine auftragsorientierte Fertigung abgeleitet worden, so daß die Losgrößenprobleme einer marktorientierten Produktion sowie die stochastische Bedarfsauflösung nicht in ihr enthalten sind.

Die folgende Untersuchung versucht daher, diese Tatbestände in die dynamische Produktionsfunktion miteinzubeziehen. Wegen der Vielfalt an Nuancen seien nur die charakteristischen Dispositionsformen anhand konkreter Modelle dargestellt. Sie sollen jedoch die Bedeutung dieser Determinante belegen.

FALL A: Auftragsorientierte Fertigung

Bedarfsauflösung nach Dispositionsstufen

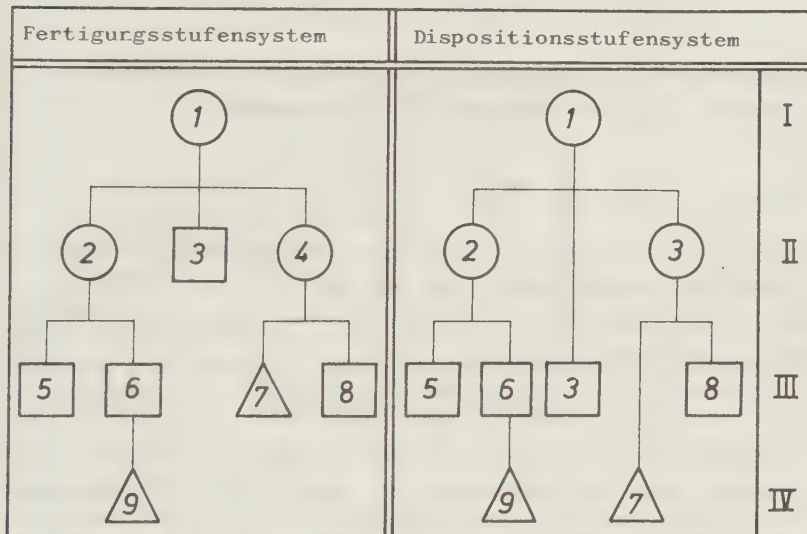
Bei Anwendung des Dispositionsstufensystems (Abb. 1.5) wird "die Materialbedarfsrechnung in der Folge der Fertigungsstufen durchgeführt, die Auftragsdisposition dagegen in der Folge der Dispositionsstufen. Die niedrigste Fertigungsstufe, in der ein Objekt vorkommt, ergibt die Dispositionsstufe des Objekts."⁴⁷⁾ Da im Beispiel der Abb. 1.5 die Zwischenprodukte der Fertigungsstufe 3 und 7 bei anderen Endproduktarten bereits auf der Ebene III bzw. IV benötigt werden, erfolgt ihre Auftragsdisposition erst auf diesen Ebenen (Dis-

46) Diese Prozesse können als quartäre Elementarkombinationen bezeichnet werden. Zum Problem der Sortenwechselkosten vgl. Gutenberg, E., Produktion, a.a.O., S. 212 f.

47) Lipka, A., Organisation der Datenverarbeitung für die Fertigung, a.a.O., S. 23.

positionsstufen). Ausgehend von der höchsten Dispositionsstufe - also der Ebene der Endprodukte - wird analog (1.27) und (1.28) der kumulierte auftragsbezogene Zwischenproduktbedarf x'_{jkz} ermittelt.

Abb.1.5



Eine Zusammenfassung dieser Zwischenproduktmengen ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn die durchschnittliche periodenbezogene Auflagenhöhe y_{jkz} weniger sekundäre Elementarkombinationen erfordert als bei einer rein auftragsbezogenen Disposition gemäß (1.35).

$$(1.38) \quad y_{jkz} > \frac{w_{jkz}^{(p)'} }{w_{jkz}^{(s)'} } = \frac{x'_{jkz}}{\beta_{jk} \cdot w_{jkz}^{(s)'} }$$

Ist diese Bedingung (1.38) erfüllt, so sind in einem ersten Schritt die Fertigungsstufen des Produktionsprogrammes in Dispositionsstufen umzuformen. Für jede der F Dispositions-

stufen bringt eine Zuordnungsmatrix $y_{j,E}^{(D)}$ zum Ausdruck, welche Elementarkombinationen ihr zugeteilt sind (1.39).

$$(1.39) \quad y_{j,E}^{(D)} = \begin{cases} 1, & \text{wenn } j \text{ auf Dispositionsstufe } E \text{ liegt} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

wobei $E = I, II, III \dots$ bis F

Faßt man den mengenmäßigen auftragsbezogenen Zwischenproduktbedarf $x_{jku}^{(1)}$ in Gleichung (1.40) zusammen,

$$(1.40) \quad x_{jku}^{(1)} = v_{jku}^{(1)} \cdot \alpha_{jku}^{(1)} \cdot p_{kl} \cdot x_{lu}$$

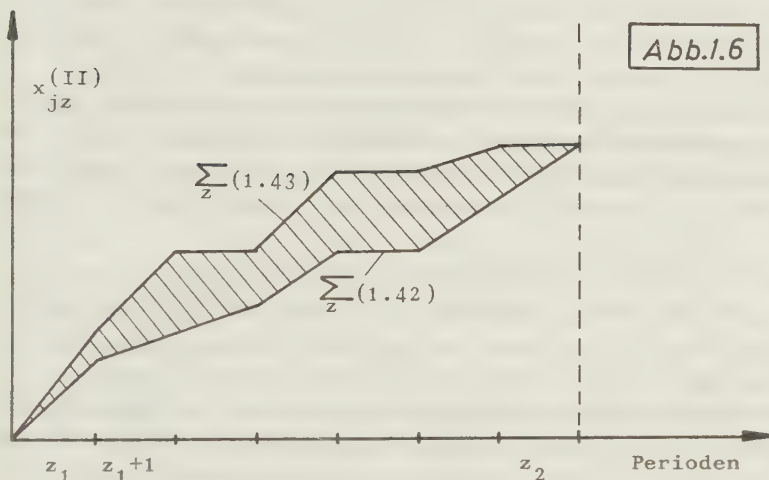
so errechnet sich der aus sämtlichen Endproduktarten resultierende Zwischenproduktbedarf der Stufe II in Periode z analog (1.27) und (1.28) aus der Zuordnungsgleichung (1.41) und der Gleichung (1.42).

$$(1.41) \quad Y_{jzu}^{II,I} = \begin{cases} y_{j,II}^{(D)} \cdot \sum_{k,1} x_{jku}^{(1)} & \text{für } u - d_{jku}^{(1)} = z \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$(1.42) \quad x_{jz}^{(II)} = \sum_{u=z}^{\infty} Y_{jzu}^{II,I}$$

In Abbildung 1.6 ist dieser zu den spätest zulässigen Terminen abgeleitete Zwischenproduktbedarf über die Perioden kumuliert dargestellt. Die Aufrechterhaltung des produktionswirtschaftlichen Gleichgewichts verbietet eine Unterschreitung dieser Summenkurve, da sonst der Produktbedarf nicht termingerecht gedeckt werden kann. Läßt man die mehrmalige (c_{jz}) Fertigung einer Auflagengröße p_{jz} innerhalb einer Periode zu, dann nimmt die Dispositionsbedingung die Form (1.43) an.

$$(1.43) \quad \sum_{t=z_1}^z c_{jt}^{(II)} \cdot \mu_{jt}^{(II)} \cdot \beta_j \geq \sum_{t=z_1}^z x_{jt}^{(II)}$$



Da bei einer auftragsorientierten Fertigung die Lagerhaltung (schraffierte Fläche) nur die zeitliche Diskrepanz zwischen vorgegebenem Produktbedarf und produzierten Erzeugnismengen überbrücken soll, ist am Ende des Planungszeitraumes (z_2) die Übereinstimmung von Bedarf und Produktion zu gewährleisten (1.44).

$$(1.44) \quad \sum_{t=z_1}^{z_2} c_{jt}^{(II)} \cdot \mu_{jt}^{(II)} \cdot \beta_j = \sum_{t=z_1}^{z_2} x_{jt}^{(II)}$$

Ist die Disposition der Stufe II abgeschlossen, dann kann der Zwischenproduktbedarf der Stufe III disponiert werden, der für die Erzeugung der Produkte der Stufen II und I erforderlich ist. Der Zwischenproduktbedarf für Stufe II folgt analog (1.41) aus der Zuordnungsgleichung (1.45).

$$(1.45) \quad y_{jzu}^{III, II} = \begin{cases} y_{j, III}^{(D)} \cdot \sum_{e=1}^m x_{jeu} & \text{für } u - q_{jeu}^{(II)} = z \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$(1.46) \quad \text{wobei} \quad x_{jeu} = B_{je} \cdot v_{jku}^{(e)} \cdot \alpha_{ju}^{(e)} \cdot c_{eu}^{(II)} \cdot y_{eu}^{(II)}$$

Vor der Produktion der Loseinheit $y_{eu}^{(II)}$ muß festgelegt werden, wie der Bedarf an derivaten Produktionsfaktoren durch die Elementarkombinationen der jeweils vorgelagerten Fertigungsstufen gedeckt wird (Verteilungsparameter $v_{jku}^{(e)}$), welcher Produktionskoeffizient zwischen der übergeordneten (e) und nachgeordneten (j) Elementarkombination besteht (Produktivitätsbeziehung B_{je}) und wie hoch der wahrscheinliche Ausschußanteil (Ausschüßkoeffizient $\alpha_{ju}^{(e)}$) sein wird.

Da jede Loseinheit als eigenständiger Auftrag disponiert wird, kann der Verteilungsparameter nicht mehr auf den Endproduktauftrag x_{lu} , sondern nur auf den Fertigungsauftrag $y_{eu}^{(II)}$ bezogen werden. Um hierbei sicherzustellen, daß für diesen Fertigungsauftrag die Zwischenprodukte der vorgelagerten Fertigungsstufen in ausreichendem Maße verfügbar sind, ist für die Fertigungsstufe k die Bedingung (1.47) zu erfüllen.

$$(1.47) \quad \sum_{j=1}^m v_{jku}^{(e)} = 1$$

Bei der Analyse der zwischen den Elementarkombinationen bestehenden Produktivitätsbeziehungen B_{je} wird unterstellt, daß der stufenbezogene Produktionskoeffizient b_{ks} für sämtliche Elementarkombinationen einer Fertigungsstufe Gültigkeit hat. B_{je} kann dann aus (1.48) errechnet werden.

$$(1.48) \quad B_{je} = b_{ks} \cdot y_{jk}^{(F)} \cdot y_{es}^{(F)} \quad \text{wobei}$$

$$(1.49) \quad y_{jk}^{(F)} = \begin{cases} 1, & \text{wenn } j \text{ auf Fertigungsstufe } k \text{ liegt} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Schließlich ist noch die Vorlaufzeit für den Zwischenproduktbedarf der Elementarkombination j auf Dispositionsstufe

III zu ermitteln. Sie folgt aus der Durchführungsdauer $q_{eu}^{(II)}$ der Elementarkombinationen der übergeordneten Dispositionsstufe (1.50).

$$(1.50) \quad q_{eu}^{(II)} = \frac{c_{eu}^{(II)} \cdot y_{eu}^{(II)} \cdot t_e}{\beta_e}$$

Um die Disposition der Stufe III abschließen zu können, ist der für die Dispositionsstufe I erforderliche Zwischenproduktbedarf abzuleiten. Analog (1.41) wird er durch den Ausdruck (1.51) erfaßt.

$$(1.51) \quad y_{jzu}^{III, I} = \begin{cases} y_{j, III}^{(D)} \cdot \sum_{k, l} x_{jku}^{(1)} & \text{für } u - d_{jku}^{(1)} = z \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die der Ungleichung (1.43) entsprechende Dispositionsbedingung der Stufe III kann nun zusammenfassend in (1.52) dargestellt werden.

$$(1.52) \quad \sum_{t=z_1}^z c_{jt}^{(III)} \cdot y_{jt}^{(III)} \cdot \beta_j \geq \sum_{t=z_1}^z \overbrace{\sum_{u=t}^{\infty} (y_{jtu}^{III, II} + y_{jtu}^{III, I})}^{x_{jz}^{(III)}}$$

In einem nächsten Schritt wäre der Bedarf $x_{jz}^{(IV)}$ der Dispositionsstufe IV zu ermitteln und die Disposition dieser Stufe analog zu vollziehen. Für die E-te Stufe resultiert daraus folgendes allgemeines Gleichungssystem:

$$(1.53) \quad \sum_{t=z_1}^z c_{jt}^{(E)} \cdot y_{jt}^{(E)} \cdot \beta_j \geq \sum_{t=z_1}^z \sum_{u=t}^{\infty} \sum_{H=I}^{H-1} y_{jtu}^{E, H}$$

$$(1.54) \quad \sum_{t=z_1}^{z_2} c_{jt}^{(E)} \cdot y_{jt}^{(E)} \cdot \beta_j = \sum_{t=z_1}^{z_2} \sum_{u=t}^{\infty} \sum_{H=I}^{H-1} y_{jtu}^{E, H} \quad \text{wobei}$$

$$(1.55) \quad y_{jtu}^{E,H} = \begin{cases} y_{j,E}^{(D)} \sum_{e=1}^m B_{je} \cdot v_{jku}^{(e)} \cdot \alpha_{ju}^{(e)} \cdot c_{eu}^{(E-1)} \cdot \rho_{eu}^{(E-1)} & \text{für } u - q_{eu}^{(E-1)} = t \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$(1.56) \quad y_{jtu}^{E,I} = \begin{cases} y_{j,E}^{(D)} \sum_{kl} x_{jku}^{(1)} & \text{für } u - d_{jku}^{(1)} = t \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Auf der Basis eines gegebenen Produktionsprogrammes X_{lu} wird also jeweils der Bedarf der nächsten Dispositionsstufe abgeleitet, der Produktionsvollzug aber erfolgt aufgrund einer eigenständigen Entscheidung, die lediglich restriktiv an den Bedarf gekoppelt ist. Die periodenbezogene Auflagengröße ρ_{jz} sowie ihre Wiederholungszahl c_{jz} sind die dominierenden Determinanten dieses Modells, die sowohl die zeitliche Verteilung des Faktorverbrauchs als auch des Kapazitätsbedarfes bestimmen.

Der Anschluß an die Produktionsfunktion und deren Kapazitätsrestriktion wird über die Beziehungen (1.57) und (1.58) hergestellt,

$$(1.57) \quad x_{jz}^I = \begin{cases} \sum_1 v_{j1z}^{(1)} \cdot \alpha_{jz}^{(1)} \cdot X_{1z} & \text{für } E=I \\ c_{jz} \cdot \rho_{jz} \cdot \beta_j & \text{für } E=II \text{ bis } F \end{cases}$$

$$(1.58) \quad w_{jz}^{sI} = c_{jz}$$

die den Gleichungen (1.28) und (1.35) des periodenbezogenen Produktionsmodelles entsprechen. Da demnach sämtliche Pro-

duktionsentscheidungen ($y_{jz}; c_{jz}$) über die Kapazitätsbedingung verbunden sind, dürfen diese nicht stufenweise isoliert, sondern nur simultan getroffen werden.⁴⁸⁾

FALL B: Marktorientierte Fertigung
Deterministische Bedarfsauflösung

Bei marktorientierten Unternehmen sind zum Planungszeitpunkt die Auftragseingänge nur teilweise bekannt. Der Betrieb ist daher zur Abkürzung des Lieferzeitraumes gezwungen, das Fertigungsprogramm auf der Grundlage von Absatzprognosen festzulegen. Abweichungen von diesen Prognosen kommen dann in einem ungeplanten Lager- oder Fehlmengenbestand zum Ausdruck.

Im Gegensatz zum bekannten Fertigungsprogramm bei auftragsorientierten Unternehmen liegt hier in der Festlegung des Produktionsprogrammes bereits ein arteigener Entscheidungstatbestand. Da die Fertigungsaufträge vor den Kundenbestellungen erteilt werden, kann sich auch die Produktion zeitlich von der Absatzprognose lösen. Stellt X'_{lu} die prognostizierte Absatzentwicklung dar, so ist bereits auf der Dispositionsstufe I durch die Entscheidung über die Auflagenhöhe $y_{jz}^{(I)}$ und deren Wiederholungen $c_{jz}^{(I)}$ das konkrete Fertigungsprogramm festzulegen. Die Dispositionsbedingung für diese Stufe folgt dann aus (1.59), wobei in (1.60) der Endproduktbedarf - erhöht um den Ausschußanteil - auf die Elementarkombinationen der obersten Fertigungsstufe verteilt wird.

$$(1.59) \quad \sum_{t=z_1}^z c_{jt}^{(I)} \cdot y_{jt}^{(I)} \cdot \beta_j \geq \sum_{t=z_1}^z x_{jt}^{(I)} \quad \text{mit}$$

$$(1.60) \quad x_{jt}^{(I)} = y_{j,I}^{(D)} \cdot \sum_1 v_{j1t}^{(1)} \cdot \alpha_{jt}^{(1)} \cdot x_{1t}^{(1)}$$

48) In der Realität wird meist sukzessiv entschieden werden, wobei zwischen den Stufen Rückkoppelungsentscheidungen möglich sind. Vgl. Kapitel 7.2. dieser Arbeit.

Die Disposition der nachfolgenden Stufen ist entsprechend Modell A vorzunehmen, wobei jedoch Gleichung (1.56) entfällt und Gleichung (1.55) auch für $H=I$ Gültigkeit erlangt. Die strenge Bedingung (1.54) kann gelindert werden, indem man Abweichungen innerhalb vorgegebener Bandbreiten zuläßt.

FALL C: Marktorientierte Fertigung Stochastische Bedarfsauflösung

Für geringwertige und häufig benötigte Zwischenprodukte ist der Aufwand einer deterministischen Bedarfsauflösung oft nicht sinnvoll, da die entsprechenden Lagerkosten keine Bedeutung erlangen. Entscheidend ist hier alleine, daß die Zwischenprodukte in der für die Produktion erforderlichen Menge zur Verfügung stehen. Nimmt man das Risiko eines überhöhten Lagerbestandes in Kauf, so läßt sich diese Bedingung auch durch eine stochastische Bedarfsfunktion⁴⁹⁾ erfüllen, die den wahrscheinlichen Zwischenproduktbedarf $\bar{x}_{jt}$ als Funktion eines aggregierten Produktionsprogrammes X_{1u} enthält. Die Dispositionsbedingung entspricht dann dem Ausdruck (1.61).⁵⁰⁾

$$(1.61) \quad \sum_{t=z_1}^z c_{jt} \cdot y_{jt} \cdot \beta_j \geq \sum_{t=z_1}^z \bar{x}_{jt}(X_{1u}) \cdot \sigma_j \quad \text{wobei}$$

σ_j = Sicherheitsäquivalent

Da "Mengen- und Zeitgerüst" in der stochastischen Funktion implizit enthalten sind, ist eine stufenweise Disposition nicht erforderlich.

49) Vgl. Haberfellner, R./Rutz, K., Integrierte Produktionssteuerung, a.a.O., S. 40.

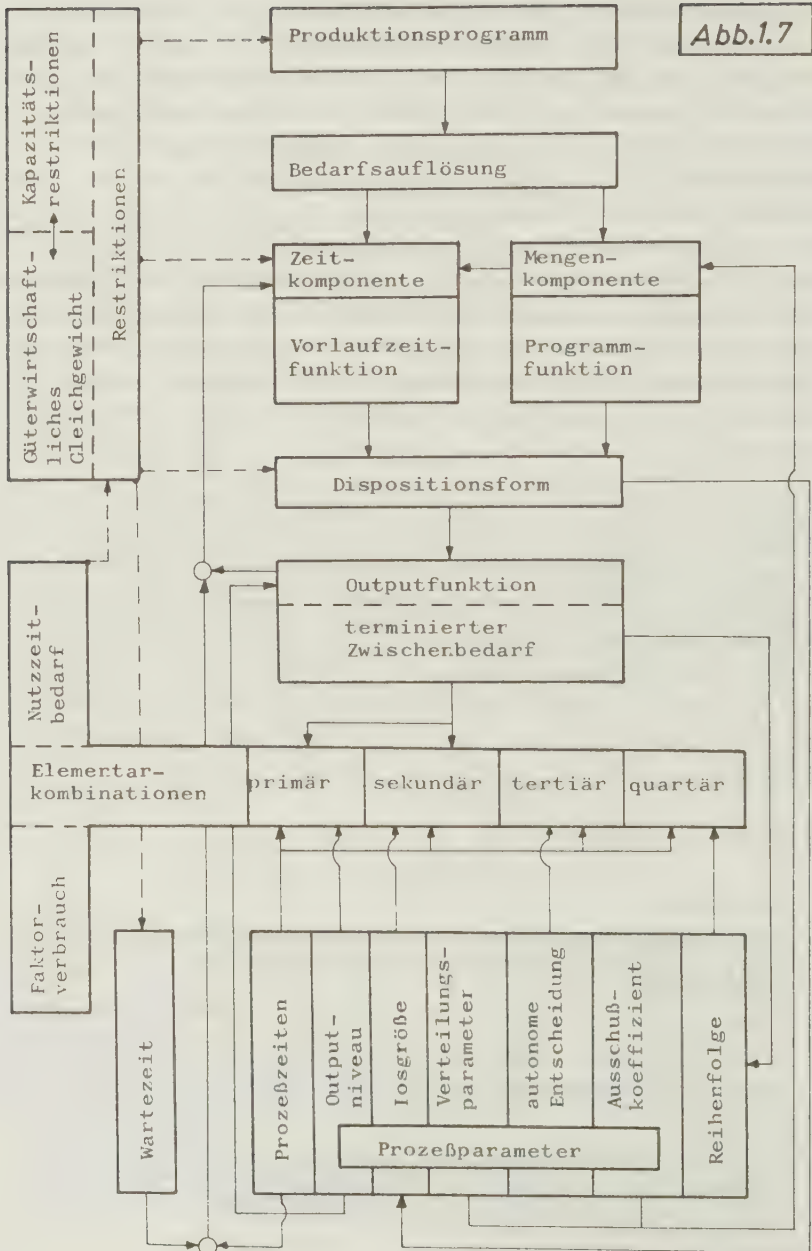
50) Eine Begrenzung des Lagerbestandes gemäß Fall B ist natürlich hier ebenfalls angebracht.

In Zusammenhang mit der mengenmäßigen und vor allem zeitlichen Ableitung der Bearbeitungsaufträge⁵¹⁾ entstehen häufig Probleme, die aus der zeitlichen Aneinanderreihung dieser Bearbeitungsvorgänge auf einem Potentialfaktor resultieren. Sind beim Wechsel zweier primärer Elementarkombinationen Rüstvorgänge erforderlich, deren Ausmaß von der Art der aufeinanderfolgenden Elementarkombinationen abhängt, so ist die Reihung der Produktionsprozesse von Bedeutung für Faktorverbrauch und Kapazitätsbedarf. Diese sortenwechselabhängigen Rüstvorgänge - sie werden im folgenden als quartäre Elementarkombinationen bezeichnet - können exakt nur in einer kontinuierlichen Produktionsfunktion erfaßt werden. Prinzipiell lassen sie sich jedoch auch im periodenbezogenen Modell darstellen.⁵²⁾

Für jeden Potentialfaktor i existiert eine Matrix, in der für die m primären Elementarkombinationen die Rüstzeiten der m^2 quartären Elementarkombinationen enthalten sind.⁵³⁾ Gibt das Element $g_{je}^{(i)}$ die quartäre Kombinationszeit wieder, die erforderlich wird, wenn die primäre Elementarkombination e auf die Kombination j folgt, und beinhaltet $Y_{je}^{(i,z)}$ die Wiederholungszahl dieser quartären Kombinationen, dann kann der sortenwechselbedingte Nutzzeitbedarf aus (1.63) bestimmt werden.

$$(1.63) \quad T_{izN}^{(Q)} = \sum_{j=1}^m \sum_{e=1}^m g_{je}^{(i)} \cdot Y_{je}^{(i,z)}$$

-
- 51) Als Bearbeitungsauftrag wird eine Loseinheit ρ_{jz} oder $x_{jku}^{(1)}$ eine auftragsbezogene Zwischenproduktmenge verstanden.
- 52) Dies erfordert jedoch die Prämissen, daß jede Elementarkombination nur einen Potentialfaktor (bzw. Potentialfaktorgruppe oder -kombination) benötigt und daß ihre Weiterverarbeitung erst in der nächsten Periode erfolgt. Nur dann kann eine Potentialfaktorperiode isoliert betrachtet werden.
- 53) Für die Kombinationen, die auf dem Faktor i nicht durchführbar sind, nehmen die Elemente den Wert "Null" an. Über Transformationen ist dann eine Reduktion der Matrix möglich.



Zur Bestimmung der Wiederholungszahl $Y_{jel}^{(i,z)}$ ist aus sämtlichen 1 Reihungsmöglichkeiten eine zulässige Lösung auszuwählen, in der gemäß (1.64) die Fertigung sämtlicher c_{jz} Auftragslose gewährleistet wird.

$$(1.64) \quad \sum_{e=1}^m Y_{jel}^{(i,z)} = c_{jz}$$

Die um Dispositionsform und quartäre Elementarkombinationen erweiterte dynamische Produktionsfunktion vom Typ C wird in Abb. 1.7. - zerlegt in ihre Komponenten - in stark aggregierter Form graphisch dargestellt. In der weiteren Untersuchung besteht die Aufgabe dieses Erklärungsmodelles darin, die Entscheidungstatbestände aufzuzeigen, durch deren Variation eine Übereinstimmung von Kapazitätsbedarf und -angebot herbeigeführt werden kann. Gleichzeitig mit der Formulierung dieser Entscheidungstatbestände soll der Realitätsbezug verdeutlicht werden.

1.4. Die Abstimmung von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot

Ein Anpassungsprozeß von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot auf der Basis der Produktionsfunktion kann durch verschiedenartige Problemtypen initiiert werden. Zum einen erzwingt die Verletzung der Kapazitätsrestriktion (1.37) in einer oder mehreren Perioden die Angleichung von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot zur Wiederherstellung einer zulässigen Produktionssituation. Zum anderen können aber auch Optimierungsprobleme eine Änderung der bestehenden Kapazitätsverhältnisse veranlassen. Typische Probleme dieser Art sind die langfristige Planung des Potentialfaktorbestandes sowie die kurzfristige Belegung der vorhandenen Faktoren

Die folgende Untersuchung zielt darauf ab, die zur Anpassung der Kapazitätsgrößen verfügbaren Instrumente mitsamt ihren Auswirkungen darzustellen. Hierbei ist zu beachten, daß die Fristigkeit der Instrumente in Verbindung mit dem verbleibenden Planungszeitraum für deren Einsatzmöglichkeit entscheidend ist.

1.4.1. Die Anpassung des Kapazitätsangebotes

Die bisherige Ableitung der Produktionsfunktion ging von einem vorgegebenen Kapazitätsangebot $T_{iz,max}$ aus, dem ein begrenzt variabler Kapazitätsbedarf T_{izN} gegenübersteht. Man kann jedoch auch die Nebenbedingung (1.37) derart interpretieren, daß das Kapazitätsangebot die Variable darstellt, während der Bedarf vorbestimmt ist. Ist diese Kapazitätsanpassung nur für ein mehrperiodisches Planungsintervall (z_1 ; z_2) durchführbar, dann erhält die zugehörige Kapazitätsrestriktion die Form (1.65).

$$(1.65) \quad T_{iz,max} \geq \text{MAX} \left[T_{izN} \text{ für } z = z_1 \text{ bis } z_2 \right]$$

Die quantitative Kapazität - definiert als die mengenmäßige periodenbezogene Leistungsfähigkeit⁵⁴⁾ - kann bei einem Mehrproduktbetrieb nicht mehr in Outputeinheiten gemessen werden. Heinen hat daher in die Produktionsfunktion vom Typ C die verfügbare Nutzzeit T_{iN} als Ersatzgröße eingefügt. Es ist somit naheliegend, zur Variation des Kapazitätsangebotes die zeitliche Anpassung⁵⁵⁾ zu wählen. Durch Verlängerung oder Verkürzung der Betriebszeit und durch Änderung der Schichtzahlen⁵⁶⁾ ist es möglich, die Größe $T_{iz,max}$ innerhalb

54) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 294.

55) Vgl. Gutenberg, E., Produktion, a.a.O., S. 371; Lücke, W., Produktions- und Kostentheorie, a.a.O., S. 111; Kälger, W., Produktions- und Kostentheorie, Wiesbaden 1958, S.94.

56) Schichtänderungen stellen nur in bezug auf die Betriebsmittel eine zeitliche Anpassung dar. Beim Faktor Arbeit sind sie unter die quantitative Anpassung zu subsumieren.

bestimmter Grenzen zu variieren. Der Vorteil von Arbeitszeit-änderungen liegt in dem verhältnismäßig kurzen Dispositionszeitraum und somit in der hohen Flexibilität, die Anpassungsrate allerdings wird durch arbeitsrechtliche und motivationsbedingte Beschränkungen begrenzt.

Durch eine Steigerung der Bearbeitungsintensität kann eine Verkürzung der minimalen Elementarkombinationszeit $t_{jk,min}$ erzielt werden. Eine derartige Erhöhung der maximalen Leistungsfähigkeit eines Potentialfaktors ist durch eine Variation seiner z- oder u-Situation⁵⁷⁾ erreichbar, wodurch sich jedoch seine technischen Verbrauchsfunktionen ändern können. Im Gegensatz zu dieser intensitätsmäßigen Anpassung⁵⁸⁾ führt eine Variation der Kombinationszeiten t_{jk} innerhalb der durch den Potentialfaktor gesetzten Grenzen lediglich zu einer unterschiedlichen intensitätsmäßigen Inanspruchnahme der gegebenen Leistungsfähigkeit. Da eine derartige intensitätsmäßige Anpassung somit nicht die Kapazität, sondern nur deren Inanspruchnahme abändert, wird sie als Determinante des Kapazitätsbedarfes angesehen, wie sie auch in der Struktur der Produktionsfunktion vom Typ C enthalten ist.

Eine Änderung der minimalen Elementarkombinationszeit ist bei Anwendung der Nutzzeitrestriktion (1.37) als Ersatzfunktion in dieser quantitativen Kapazitätsbeschränkung nicht explizit erfaßbar. Zwar ist sie implizit im System der Verbrauchsfunktionen enthalten, zur Verdeutlichung der intensitätsmäßigen Kapazitätsanpassung soll sie aber auch explizit dargestellt werden (1.66).⁵⁹⁾

57) Diese Situationsänderung ist gleichbedeutend mit einer Änderung der physikalischen Faktorstruktur (Umbau, Austausch von Aggregatteilen usw.). Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 225.

58) Vgl. Gutenberg, E., Produktion, a.a.O., S. 361; Lücke, W., Produktions- und Kostentheorie, a.a.O., S. 113; Kilger, W., Produktions- und Kostentheorie, a.a.O., S. 98.

59) Ausmaß und erforderlicher Dispositionszeitraum dieser intensitätsmäßigen Anpassung wird wesentlich durch technologische Gegebenheiten bestimmt.

$$(1.66) \quad \tau_{ij} \geq \tau_{ij,\min}$$

Durch Anschaffung oder Verkauf, durch Inbetriebnahme oder Stilllegung von Potentialfaktoren ändert sich die Leistungsfähigkeit eines Betriebes. Diese quantitative Anpassung⁶⁰⁾ bewirkt, daß in jeder Periode z neue Potentialfaktoren i hinzukommen oder bisherige eliminiert werden können (1.67).

$$(1.67) \quad T_{i_z, zN} \leq T_{i_z, z, \max} \quad \text{für } i_z = 0, 1 \text{ bis } n_z$$

Faßt man gleichartige Potentialfaktoren zu einer Gruppe zusammen, so ändert sich bei einer multiplen Anpassung lediglich die verfügbare Nutzzeit dieser Gruppe, während bei einer mutativen Anpassung neue Potentialfaktorgruppen zusätzliche Kapazitätsbedingungen und Verbrauchsfunktionen hervorrufen. Um diese mutativ hinzugekommenen Potentialfaktoren nutzen zu können, sind zugleich neue Elementarkombinationen festzulegen und über zugehörige Verteilungsparameter anzusteuern. Während die Inbetriebnahme und Stilllegung zwar zeitlich flexibel, im Ausmaß aber begrenzt ist, kann die Anpassung durch Kauf oder Verkauf meist nur längerfristig realisiert werden.

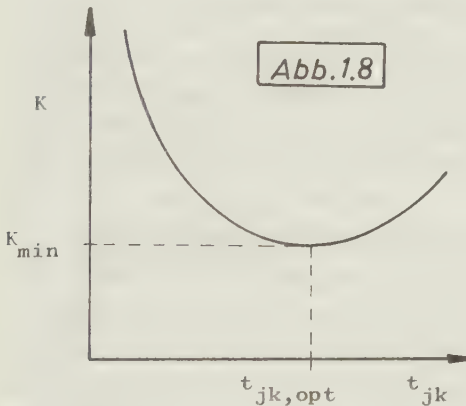
1.4.2. Die Angleichung des Kapazitätsbedarfes

Der Kapazitätsbedarf einer Periode wird durch den jeweiligen faktorbezogenen Nutzzeitbedarf T_{izN} wiedergegeben (1.37). Sämtliche Aktionsparameter, die jene Größe determinieren, sind somit geeignet, den Kapazitätsbedarf in seiner absoluten Höhe und in seiner zeitlichen Verteilung abzuändern.

60) Vgl. Gutenberg, E., Produktion, a.a.O., S. 379; Lücke, W., a.a.O., S. 118; Kilger, W., Produktions- und Kosten-theorie, a.a.O., S. 95.

a) Änderung der Kombinationszeit t_{jk}

Bei einmaligem Vollzug einer Elementarkombination kann durch eine Verkürzung der Kombinationszeit t_{jk} und die hierdurch gemäß (1.3) bedingte Änderung der Nutzzeit τ_{ij} eine Vermin-



derung des Nutzzeitbedarfes T_{izN} erreicht werden. Eine derartige Erhöhung der Intensitäten bewirkt jedoch über eine Änderung der Zeitverbrauchsfunction $\varphi_{t_{jk}}^{(i)}(t)$ auch eine Variation des Faktorverbrauches r_{ij} , so daß aus dieser Anpassungsmaßnahme auch kostenmäßige Konsequenzen resultieren.

Bezeichnet $t_{jk,opt}$ die kostenminimale Kombinationszeit, so werden die Kostenwirkungen einer Intensitätsvariation durch die Steigung des bewerteten Faktorverzehrs in der Umgebung des Punktes $t_{jk,opt}$ sichtbar (Abb. 1.8). Die Eignung der jeweiligen Elementarkombination für die Anwendung dieses Aktionsparameters kann daher aus dieser Kostenkurve gefolgert werden.

Strebt man die Minimierung der Periodengesamtkosten an, so können die t_{jk} einer Periode nur dann isoliert optimiert werden, wenn in dieser Periode das Kapazitätsangebot zur Befriedigung des hieraus resultierenden Kapazitätsbedarfes ausreicht (1.68).

$$(1.68) \quad \sum_{j=1}^m \tau_{ij,opt} \cdot w_{jz} \leq T_{iz,max}$$

und über die Fertigungsstruktur nicht die Kapazitätsbelegung anderer Perioden beeinträchtigt wird. Konkurrieren jedoch mehrere Elementarkombinationen um die knappe Nutzzeit, so können die t_{jk} nur simultan bestimmt werden.⁶¹⁾

b) Änderungen der primären Wiederholungsfunktionen

Der Bedarf bei einmaligem Vollzug einer primären Elementarkombination wird mit deren Wiederholungszahl w_{jkz} multipliziert. Die in der Wiederholungsfunktion enthaltenen Aktionsparameter sind daher selbst Anpassungsinstrumente des Kapazitätsbedarfes.

Für eine gegebene Zwischenproduktmenge hängt die Zahl der erforderlichen Kombinationswiederholungen (1.32) direkt von deren Outputniveau β_{jk} ab.⁶²⁾ Gelingt es, durch eine Änderung des Potentialfaktors das Outputniveau zu steigern, so führt dies ceteris paribus zu einer proportionalen Verminderung des Nutzzeitbedarfes. Es darf jedoch nicht übersehen werden, daß derartige Änderungen auch Auswirkungen auf die technische Verbrauchsfunktion und die benötigten Kombinationszeiten zeitigen können. Neben der Höhe des Nutzzeitbedarfes wird zudem über die Berechnung der Vorlaufzeitkoeffizienten (1.10) und die Bestimmung der Outputfunktion (1.30) die zeitliche Verteilung des Kapazitätsbedarfes beeinflusst.

Der Ausschußkoeffizient α_{jkz} ist ein stochastischer "Fremdkörper" in dem sonst deterministischen Produktionsmodell.

-
- 61) Sind an einer Elementarkombination gleichzeitig mehrere Potentialfaktoren beteiligt und/oder wird die verursachte Vorlaufzeitänderung belegungsrelevant, so wird der Simultaneitätsumfang erheblich erweitert.
- 62) Die Ableitung der Produktionsfunktion beschränkte sich auf outputfixe Elementarkombinationen. Grundsätzlich gelten die Aussagen zwar für outputvariable Prozesse, diese wurden aber bei der formalen Ableitung ausgeklammert.

Über eine Wahrscheinlichkeitsfunktion ist für jeden Fertigungsauftrag - je nach Dispositionsform entweder für die Endproduktmenge X_{1z} oder für die Losgröße y_{jz} - festzulegen, welche Zwischenproduktmenge die Auftragsdurchführung mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit gewährleistet.⁶³⁾ Den Sicherheitsvorstellungen des Entscheidungsträgers entsprechend, kann dann der Ausschußkoeffizient ausgewählt werden, um den die Zwischenproduktmenge erhöht wird. Die weitere Produktionsplanung vollzieht sich anschließend wieder auf deterministischer Basis. Zwar kann der Ausschußanteil in begrenztem Ausmaß als von Lernprozessen, Kombinationszeiten u.dgl. abhängig angesehen werden⁶⁴⁾, einer bewußten Gestaltung im Rahmen der Kapazitätsanpassung wird er sich jedoch meist entziehen.

Das gesamte System der Wiederholungsfunktionen basiert auf einem mengenmäßig und zeitlich gegebenem Fertigungsprogramm als Ausgangspunkt jeglicher Produktionsablaufplanung.⁶⁵⁾

Die Mengenkomponeute des Fertigungsprogrammes bestimmt zum einen über die Wiederholungsfunktion die Höhe des erforderlichen Nutzeitbedarfes, zum anderen aber über die Berechnung der Vorlaufzeitkoeffizienten auch dessen zeitliche Verteilung. Die Terminierung des Fertigungsprogrammes hingegen beeinflußt ceteris paribus nur die zeitliche Verteilung des Kapazitätsbedarfes (Abb. 1.7).⁶⁶⁾

63) Vgl. Stein, C., Zur Berücksichtigung des Zeitaspektes ..., a.a.O., S. 99 f.

64) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 267 Fußnoten 163, 163a und 164.

65) Am Markt abzusetzende Zwischenprodukte werden hierbei als eigene Fertigproduktarten aufgefaßt. Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 276 Fußnote 175.

66) Vgl. S. 50 dieser Arbeit.

Soll in die Produktionsfunktion auch der Entscheidungstatbestand miteinbezogen werden, Zwischenprodukte direkt vom Markt zu beziehen (Fremdfabrikation), so kann die Programmfunktion p_{kl} nicht mehr in der aufgezeigten Art für die Ableitung der Zwischenproduktmenge herangezogen werden. Bei der rein auftragsbezogenen Bedarfsdisposition ist vielmehr für jede Fertigungsstufe eines Auftrages die vom Markt bezogene Zwischenproduktmenge zu subtrahieren. Lediglich der verbliebene Restbedarf wird dann über die Produktionskoeffizienten weiter aufgelöst. Die Folge ist, daß die Programmfunktion für jeden Fertigungsauftrag (p_{klu}) zu bestimmen ist.

Bei einer Losgrößenplanung hingegen bleibt die Programmfunktion wie bisher erhalten. Hier wird vom Periodenbedarf jeder Dispositionsstufe die Menge der fremdbezogenen Produkte abgesetzt. In analoger Weise wird dieser Entscheidungstatbestand bei der stochastischen Bedarfsauflösung berücksichtigt.

Wie bereits hieraus ersichtlich wird, hat die Form der Bedarfsauflösung einen wesentlichen Einfluß auf den Kapazitätsbedarf primärer Elementarkombinationen. Mit dem Übergang von der rein auftragsbezogenen Bedarfsdisposition zur Losgrößenplanung entstehen neue Freiheitsgrade für die zeitliche Verteilung des Zwischenproduktbedarfes. Zwar bleibt der gesamte Kapazitätsbedarf innerhalb des Planungszeitraumes konstant, über die Bestimmung der Losgröße und deren Terminierung kann jedoch im Rahmen der produktionswirtschaftlichen und kapazitätsmäßigen Beschränkungen die zeitliche Verteilung des Kapazitätsbedarfes gesteuert werden.

Hebt man die Bedingung der mengenmäßigen Übereinstimmung von Produktion und Bedarf der Erzeugnisse zu Beginn und am Ende des Planungszeitraumes auf und läßt einen geplanten Lagerbestand zu, so kann über die Festlegung dieses Bestandes auch die Höhe des gesamten Kapazitätsbedarfes beeinflußt werden.

Diese Einwirkungsmöglichkeiten vergrößern sich, wenn mit dem Übergang zur marktorientierten Fertigung auch für die Endprodukte eine Losgrößenplanung sowie Lageranfangs- und Lagerendbestände zugelassen werden.

Die Freiheitsgrade vermehren sich, wenn anstelle einer deterministischen eine stochastische Bedarfsauflösung vorgenommen wird. Diese freieste Form der Disposition basiert lediglich auf einer Bedarfsschätzung der einzelnen Zwischenproduktarten. Zwar ist hier formal keine stufenweise Disposition erforderlich, in die Bedarfsprognosen sind aber die Produktivitätsbeziehungen zumindest näherungsweise zu integrieren. Zudem ist über eine Verfügbarkeitskontrolle zu gewährleisten, daß Aufträge nur eingeplant werden, wenn die erforderlichen Zwischenprodukte verfügbar sind.

Treten bei einem Potentialfaktor Engpässe auf, so kann der Kapazitätsbedarf häufig durch die Wahl einer anderen Elementarkombination auf andere Potentialfaktoren verlagert werden. Dieser Entscheidungstatbestand der Arbeitsverteilung wird durch die Verteilungsparameter $v_{jku}^{(1)}$ symbolisiert, die auf den der Dispositionsform entsprechenden Fertigungsauftrag zu beziehen sind. Nur bei einem ausreichenden Kapazitätsangebot können diese Verteilungsparameter so festgelegt werden, daß die kostenminimalen Elementarkombinationen ausgewählt werden. Bei knappen Kapazitäten hingegen wäre auch hier eine Simultanplanung erforderlich.

Um sicherzustellen, daß die erforderliche Zwischenproduktmenge einer Stufe gefertigt wird, muß bei der Arbeitsverteilung die Bedingung (1.69) erfüllt werden.

$$(1.69) \quad \sum_{j=1}^m v_{jku}^{(1)} = 1$$

Entstehen Kapazitätsengpässe, so kann die Durchführung von Elementarkombinationen häufig in andere Betriebe vergeben

werden (Lohnfabrikation). In diesem Fall treten neben den m_1 innerbetrieblichen Elementarkombinationen noch die $m_2 - m_1$ außerbetrieblichen auf. Die Nebenbedingung (1.69) ändert sich dann zu (1.70).

$$(1.70) \quad \sum_{j=1}^m v_{jku}^{(1)} + \sum_{j=1}^{m_2} v_{jku}^{(1)} = 1$$

Den innerbetrieblichen Kapazitätsbeschränkungen unterliegen in diesem Fall nur die m_1 Elementarkombinationen. Allerdings kann auch die Lohnfabrikation nur begrenzt anwendbar sein, nämlich dann, wenn am Markt nicht alle Aufträge platziert werden können.

Die Wahl der Verteilungsparameter ordnet die Zwischenprodukte den einzelnen Elementarkombinationen zu und bestimmt über die Anzahl ihrer Wiederholungen die Höhe des zugehörigen Kapazitätsbedarfes. Gleichzeitig fixiert sie hiermit auch die Durchführungsdauer der betreffenden Prozesse.

Diese Durchführungsdauer wiederum ist Bestandteil der Vorlaufzeitfunktion $d_{jku}^{(1)}$, die den production time lag zwischen dem Endproduktbedarf und dem Zwischenproduktbedarf wiedergibt. Da diese Vorlaufzeitkoeffizienten das "Zeitgerüst" der Produktion beinhalten, kommt ihnen Einflußgrößen eine große Bedeutung für die zeitliche Verteilung des Kapazitätsbedarfes zu.

Sind auf den Produktionsstufen zuerst alle Zwischenprodukte zu fertigen, bevor sie zur nächsten Stufe übergehen, so errechnet sich die Vorlaufzeit aus der Summe der maximalen Bearbeitungszeiten der einzelnen Stufen. Sind jedoch zeitliche Überlappungen zwischen den einzelnen Stufen bzw. ihren Elementarkombinationen vorgesehen, so sind von den Bearbeitungszeiten die zugehörigen Überlappungszeiten zu subtrahieren. Bei dieser Entscheidung darf jedoch das produktions-

wirtschaftliche Gleichgewicht⁶⁷⁾ nicht gefährdet werden.

Bei der Ableitung der Vorlaufzeitkoeffizienten sind bisher nur Bearbeitungszeiten berücksichtigt worden. Zwischen der spätest zulässigen Terminierung $d_{jku}^{(1)}$ und der frühest möglichen $D_{jku}^{(1)}$ können jedoch auf den einzelnen Fertigungsstufen beliebige Wartezeiten eingeplant werden, wodurch die zeitliche Verteilung des Zwischenproduktbedarfes und somit auch die des Nutzzeitbedarfes gesteuert werden kann. Der Festlegung dieser stufenweisen Wartezeitverteilung kommt im Rahmen der Kapazitätsterminierung große Bedeutung zu, so daß es nicht verwundert, daß zur Anwendung dieses Instrumentes bereits zahlreiche Methoden entwickelt worden sind.⁶⁸⁾

Die Verteilung der Wartezeiten folgt aus der zeitlichen Zuordnung von Elementarkombinationen und Potentialfaktoren, wobei die Zahl der Freiheitsgrade aus dem zeitlichen Dispositionsspielraum sowie der Fertigungsstruktur der Aufträge resultiert. Eine exakte Lösung dieses kombinatorischen Problems ist wegen der Anzahl der Reihenfolgemöglichkeiten bisher nur für Spezialfälle möglich, so daß man sich fast ausschließlich heuristischer Planungsmethoden bedient.⁶⁹⁾

Bei den seriellen Näherungsverfahren werden die zu bearbeitenden Aufträge ihrer Dringlichkeit entsprechend in eine Reihenfolge gebracht. Diese Auftragsreihenfolge wird dann se-

67) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 300.

68) Vgl. Kapitel 7.1. dieser Arbeit.

69) Vgl. Hoss, K., Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden, Würzburg-Wien 1965, S.93 ff. (Zitierweise: Fertigungsablaufplanung); Müller-Merbach, H., Optimale Reihenfolgen, Berlin-Heidelberg-New York 1970, S. 172 f.; Kern, W., Optimierungsverfahren in der Ablauforganisation, Essen 1967, S. 119 (Zitierweise: Optimierungsverfahren). Zur Einteilung der heuristischen Verfahren vgl. Rosenkranz, F., Netzwerktechnik und ihre wirtschaftliche Anwendung, Meisenheim am Glan 1968, S. 216 f.

riell eingeplant, wobei die einzelnen Vorlaufzeitkoeffizienten jeweils so mit Wartezeiten vergrößert werden, daß die Elementarkombinationen auf freie Kapazitäten treffen. Die zeitliche Einplanung eines derartigen Auftrages kann in retrograder, progressiver oder kombinierter Richtung erfolgen.⁷⁰⁾ Das Ergebnis des Planungsprozesses hängt jedoch stark von der gewählten Auftragsreihenfolge ab.

Parallele Verfahren ordnen nicht den einzelnen Aufträgen x_{lu} , sondern innerhalb jeder Periode den Elementarkombinationen x_{jz} bestimmte Prioritäten zu. Hierdurch können sowohl Dringlichkeiten der Endprodukte (externe Priorität) als auch Verarbeitungsgesichtspunkte (interne Priorität) erfaßt werden. Zudem ist es möglich, die Priorität der Elementarkombinationen in Abhängigkeit von ihrer Wartezeit dynamisch zu definieren. Auch dieses verfeinerte System von Prioritätsregeln bildet nur ein heuristisches Verfahren, das keinen Anspruch auf irgendeinen "Optimalzustand" erheben kann.

c) Änderungen der sekundären Wiederholungsfunktion

Sekundäre Elementarkombinationen sind, nach der Definition von Heinen⁷¹⁾, über eine Auflagengröße an die primären Elementarkombinationen gekoppelt. Soweit diese Auflagengröße innerhalb der jeweiligen Dispositionsform einem selbständigen Bearbeitungsauftrag gleichkommt, bestimmt sie die Zahl und zeitliche Verteilung der primären Wiederholungen. Die hieraus resultierenden Kapazitätswirkungen sind bereits dargestellt worden.

Mit jeder Auflage y_{jkz} kann jedoch auch eine sekundäre

70) Vgl. Lipka, A., Organisation der Datenverarbeitung ..., a.a.O., S. 79; Kern, N., Netzplantechnik, Wiesbaden 1969, S. 54.

71) Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 261.

Elementarkombination verbunden sein, die selbst einen Faktorverbrauch und Kapazitätsbedarf verursacht. Die Arbeitsvorgänge "Rüsten" und "Wartung" stellen zum Beispiel typische Formen dieser Kombinationsart dar. Bei einer gegebenen Anzahl primärer Elementarkombinationen werden durch die Wahl der periodenbezogenen Auflagengröße δ_{jkz} die Wiederholungen der zugehörigen sekundären Kombinationen fixiert. Die Auflagengröße beeinflusst damit in dreifacher Weise die Kapazitätsbelastung; nämlich

1. über die Bedarfsdisposition direkt die Anzahl und zeitliche Verteilung der primären Elementarkombinationen,
2. über die Menge der Fertigungslose direkt die Anzahl und zeitliche Verteilung der sekundären Elementarkombinationen und schließlich
3. über ihren Einfluß auf die Vorlaufzeit die zeitliche Verteilung des Kapazitätsbedarfes.

d) Änderungen der tertiären Wiederholungsfunktion

Unter den tertiären Elementarkombinationen werden die Bearbeitungsvorgänge zusammengefaßt, deren Durchführungszahl in keinem eindeutig bestimmbar Verhältnis zum Fertigungsprogramm steht.⁷²⁾ Sie werden daher als zeitabhängig unterstellt.

Im Rahmen des periodenbezogenen Produktionsmodelles ist der hierdurch verursachte Kapazitätsbedarf die Folge autonomer Entscheidungen, die keiner näheren Begründung bedürfen. Es sei allerdings darauf hingewiesen, daß über die Kapazitätsrestriktionen (1.37) meist Interdependenzen zu den übrigen Entscheidungstatbeständen hergestellt werden.

72) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 279 f.

e) Änderungen der quartären Wiederholungsfunktion

Die quartären Elementarkombinationen beinhalten die Arbeitsprozesse, die durch die Reihung der primären Elementarkombinationen bei der Inanspruchnahme des Potentialfaktors entstehen (Sortenwechselkosten). Da ihre Entstehung durch die Wahl der Vorlaufzeitkoeffizienten verursacht wird, stellen sie ebenso wie deren Festlegung ein kombinatorisches Problem dar. Ihre Analyse ist daher nur mittels einer Zeitablaufbetrachtung möglich.⁷³⁾ Im Rahmen eines periodenbezogenen Produktionsmodells sind sie nur erfaßbar, wenn innerhalb einer Periode die Prämissen⁷⁴⁾ für die Durchführung einer derartigen Zeitablaufbetrachtung zutreffen.

Der durch die quartären Elementarkombinationen verursachte Faktorverbrauch und Kapazitätsbedarf ist also nicht durch die Wahl des Fertigungsprogrammes, sondern lediglich durch die Reihung der hieraus resultierenden Elementarkombinationen bewirkt.⁷⁵⁾ Über die Kapazitätsrestriktion können jedoch auch hier Interdependenzen zu den sonstigen Aktionsparametern bestehen.

Mit der Darstellung der Entscheidungstatbestände sowie ihrer komplexen Auswirkungen ist die Aufgabe eines Erklärungsmodelles abgeschlossen. Das ökonomisch relevante Problem, diese Entscheidungen hinsichtlich eines bestimmten Zieles optimal zu gestalten, ist nur durch den Übergang auf ein Entscheidungsmodell analysierbar.

73) Da während der Bearbeitung ein Wechsel nicht zulässig sein soll, kann sich die Zeitbetrachtung auf die Analyse des Wechselzeitpunktes beschränken. Dies kommt einer Zeitraumbetrachtung mit variabler, bearbeitungszeitabhängiger Periodendauer gleich.

74) Vgl. Kapitel 1.3, S. 38 dieser Arbeit.

75) Sofern die Wahl des Fertigungsprogrammes die Bearbeitungsreihenfolge bereits vorbestimmt, geht die Verursachung auf diese Entscheidung zurück.

2. DIE PROBLEMATIK KOSTENTHEORETISCHER ENTSCHEIDUNGS- MODELLE ZUR DISPOSITION DER KAPAZITÄTEN

Jedem wirtschaftlichen Realproblem liegt ein konkretes "Entscheidungsfeld" zugrunde, definiert als "die Menge und Art der Personen und Sachen, die durch einen Willensakt direkt oder indirekt beeinflußt werden können, und die Gegebenheiten der Umwelt, die den Erfolg der Willensakte beeinflussen"¹⁾. Dieses reale Entscheidungsfeld wird mittels der Modellbildung in ein imaginäres, formales Entscheidungsfeld transformiert, in dem durch den Einsatz operationsanalytischer Verfahren die unabhängigen Variablen festgelegt werden. Der Realitätsbezug dieses formalen Entscheidungsfeldes wird durch die Wahl der Prämissen bestimmt, welche das Modell vor "unliebsamen" Parametern und komplexen Zusammenhängen bewahren. Unzulässige Alternativen werden durch Restriktionen ausgeschlossen.

Die Anwendung eines Entscheidungsmodelles bezweckt eine zielorientierte Abstimmung der unabhängigen Variablen. Beinhalten die Konsequenzen (abhängige Variable) der Alternativen bzw. die angestrebten Ziele verschiedenartige Dimensionen, so bedarf es zur Überführung in eine eindimensionale Zielfunktion eines Bewertungsprozesses. Diese Bewertung steuert dann als subjektive "Vorteilhaftigkeitsregel" die Wahl der Alternative.

Die Festlegung der Aktionsparameter im Rahmen eines Problemlösungsprozesses kann simultan oder sukzessiv erfolgen. Während ein simultaner Entscheidungsprozeß durch die gleichzeitige Anpassung aller unabhängiger Variabler gekennzeichnet ist, erfolgt bei der sukzessiven Problemlösung die Fixierung

1) Engels, W., Betriebswirtschaftliche Bewertungslehre im Lichte der Entscheidungstheorie, Köln und Opladen 1962, S. 94.

der Variablen zeitlich gestuft.²⁾ Entscheidungen der vorgelagerten Stufe gehen einerseits als Prämissen in das Kalkül der nachgelagerten Stufe ein. Andererseits beeinflussen Vorstellungen über das Entscheidungsverhalten der nachgelagerten Stufe die Entscheidungsfindung der übergeordneten Ebene. Da diese Vorstellungen noch einen mehr oder weniger begrenzten Handlungsspielraum zulassen, können Interdependenzen zwischen den Aktionsparametern nur durch eine simultane Entscheidung exakt berücksichtigt werden. Lediglich bei ausschließlich voneinander unabhängigen Variablen führen simultane und sukzessive Lösungsprozesse zwingend zu dem gleichen Ergebnis.

Die wechselseitige Abhängigkeit der produktionstheoretisch dargestellten Entscheidungstatbestände³⁾ erfordert somit für eine exakt optimale Disposition der Kapazitäten ein simultanes Planungsmodell. Die große Zahl von Aktionsparametern und deren komplexe Struktur verhindert aber bis heute die Formalisierung eines derartig umfassenden Simultanmodelles. Diese formalen Probleme und der mit ihrer Lösung verbundene Rechenaufwand, die im Modell enthaltenen bewertungsinduzierten Subjektivismen⁴⁾ und die risikobehafteten Prognosewerte von Parametern⁵⁾ lassen jedoch den Informationswert⁶⁾ eines derartigen Simultanmodelles von vornherein fraglich erscheinen. Auf Realprobleme wird daher eine

2) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 477; Heinen, E., Das Zielsystem der Unternehmung, Wiesbaden 1966, S. 189 (Zitierweise: Zielsystem); Gutenberg, E., Produktion, a.a.O., S. 162 f.

3) Siehe Kapitel 1.4., S. 51 dieser Arbeit.

4) Siehe Kapitel 2.2. und 2.3. dieser Arbeit.

5) Siehe Kapitel 2.3.3. auf S. 120 dieser Arbeit.

6) Zur Definition des Informationswertes siehe: Heinen, E./Fahn, E./Wegenast, C., Informationswirtschaft, in: Heinen, E. (Hrsg.), Industriebetriebslehre, Wiesbaden 1972, S. 690; Albach, H., Informationswert, in: Grochla, E. (Hrsg.), Handwörterbuch der Organisation, Stuttgart 1969, Sp. 720-727.

Kombination sukzessiver und simultaner Lösungsprozesse angewandt, wobei auf den einzelnen Entscheidungsstufen jeweils mehrere Variable festgelegt werden können. Je weniger durch eine derartige Modellkonstruktion die Interdependenzen von Variablen durchschnitten werden, desto geringer ist die Abweichung der Näherungslösung von dem exakten Formaloptimum. Die durch eine problemadäquate Modellstrukturierung erreichte Übereinstimmung von Realität und Modell determiniert demnach das Ausmaß der Zielerreichung.

Auch der folgenden Untersuchung über die Formulierung von Entscheidungsmodellen zur Disposition der Kapazitäten wird ein derartig kombiniertes Vorgehen von sukzessiver und simultaner Planung zugrunde gelegt. Als Kriterium für die Abgrenzung der hintereinandergeschalteten Entscheidungsbereiche dient die unterschiedliche zeitliche Flexibilität der Aktionsparameter. Diese zeitliche Flexibilität wird bestimmt durch den Dispositions- und Wirkungszeitraum des Parameters sowie durch die Kosten-Zeit-Elastizitäten dieser Zeiträume. Hierbei sei der Dispositionszeitraum definiert als die Summe der Zeiteinheiten, die zwischen der Entscheidung über den Einsatz des Parameters und deren frühester Realisierbarkeit verstreichen.⁷⁾ Der Wirkungszeitraum umfaßt die Zeit zwischen der ersten und letzten unmit-

7) Beide Zeiträume sind umweltbestimmt. So hängt der Dispositionszeitraum u.a. von der Lage auf dem Beschaffungsmarkt ab, wobei für funktionsverbundene Parameter (z.B. Maschine und Zubehör, Maschinenkombinationen usw.) die längste Beschaffungsfrist ausschlaggebend ist. Eventuelle Vorlaufarbeiten (z.B. Installation, Konstruktion, Rüstzeiten, Anlernzeiten usw.) verlängern den Dispositionszeitraum. Hierbei sind auch parameterbezogene und betriebsinterne Faktoren mitbestimmend.

telbaren Auswirkung der Parameteränderung.⁸⁾ Ausgehend von ihren umweltbedingten Größen lassen sich beide Zeiträume für den einzelnen Betrieb durch die Inkaufnahme von Kosten abändern.⁹⁾ Das Verhältnis dieser relativen Kostenänderung bezogen auf die relative Zeitänderung wird hier als Kosten-Zeit-Elastizität bezeichnet.¹⁰⁾ Trotz der vorhandenen Bewertungsproblematik dürfte die Operationalität dieser Begriffe für die Abgrenzung der Entscheidungsbereiche ausreichend sein. Vorteilhaft ist dieses Kriterium vor allem deswegen, weil die Planungsperiode der einzelnen Entscheidungsbereiche jeweils mit der zeitlichen Flexibilität der Aktionsparameter zur Verringerung des Rechenaufwandes abgestimmt werden kann.

2.1. Entscheidungsbereiche bei der sukzessiven Lösung des Kapazitätsproblems

Will man die Aktionsparameter eines Entscheidungsfeldes optimal festlegen, so ist die Planungsperiode jeweils so zu bemessen, daß auch der Parameter mit der geringsten

8) Jede Änderung eines Aktionsparameters hat für einen bestimmten Zeitraum unmittelbare Auswirkungen auf den Prozeßablauf. Dieser Zeitraum ist z.B. bei quantitativer Anpassung die Lebensdauer des Aggregates, bei Programmänderungen die Durchlaufzeitdifferenz, bei zeitlicher Anpassung der Anpassungszeitraum (z.B. eine Schicht oder eine Überstunde) und bei Auflageänderungen ebenfalls die Durchlaufzeitdifferenz.

9) Da beide Zeitwerte Zukunftsgrößen sind, können sie zunächst nur unter Zugrundelegung der üblichen Betriebs- und Marktbedingungen geschätzt werden. Legt man diese Schätzwerte als normal zugrunde, so lassen sie sich meist durch Inkaufnahme von Kosten abändern. So kann z.B. durch Zahlung eines höheren Preises die Beschaffungsfrist abgekürzt werden und durch Hinnahme eines Verkaufsverlustes der Wirkungszeitraum eines Aggregates beliebig verkürzt werden.

10) Diese Elastizitäten sind als "Punktlastizitäten" Funktionen der jeweiligen absoluten Zeitwert.

zeitlichen Flexibilität noch variiert werden kann.¹¹⁾ Durch die Einteilung in Entscheidungsbereiche wird eine Übereinstimmung zwischen Parameter- und Modellfristigkeit angestrebt. Da die zeitliche Flexibilität durch Markt- und Betriebsdaten determiniert wird, kann eine derartige Einteilung nicht genereller, sondern nur tendenzieller Art sein.

Der in der Regel relativ große Dispositionszeitraum und der definitionsgemäß¹²⁾ längerfristige Wirkungszeitraum der Potentialfaktoren lassen in Verbindung mit der tendenziell großen Kosten-Zeit-Elastizität die Variation der Potentialfaktorausstattung als Problem des langfristigen Entscheidungsbereiches erscheinen. Die zeitliche Elastizität von Programmentscheidungen ist stark durch markt- und produktionsspezifische Daten determiniert. Sie werden jedoch hier als zeitlich flexibler angesehen als die Ausstattungsentscheidungen und somit dem mittelfristigen Entscheidungsbereich zugeordnet. Die Prozeßparameter schließlich dienen der Steuerung des Fertigungsprozesses. Ihre hohe zeitliche Flexibilität weist sie dem kurzfristigen Entscheidungsbereich zu.

2.1.1. Die Variation des Potentialfaktorbestandes

Definitionsgemäß basiert die Produktionsfunktion vom Typ C auf einem gegebenen Bestand an Potentialfaktoren, so daß eine Variation des Potentialfaktorbestandes ex definitione

11) Vgl. hierzu: Busse von Colbe, W., Die Planung der Betriebsgröße, Wiesbaden 1964, S. 80; Müller, J.H., Produktionstheorie, in: Ehrlicher, W. u.a. (Hrsg.), Kompendium der Volkswirtschaftslehre, - Göttingen 1969, S. 75-123, hier S. 78; Albach, H., Zur Verbindung von Produktionstheorie und Investitionstheorie, in: Koch, H. (Hrsg.), Zur Theorie der Unternehmung, Festschrift für Erich Gutenberg, Wiesbaden 1962, S. 137-203, hier S. 147.

12) Zur Definition der Potentialfaktoren vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 191; Gutenberg, E., Produktion, a.a.O., S. 326.

den Übergang auf eine neue Produktionsfunktion zur Folge hat.¹³⁾ Eine produktionstheoretisch fundierte Kapazitätsplanung bedarf jedoch einer Produktionsfunktion, welche die Ausstattung als Variable enthält, wobei sie nach Heinen "nicht nur die vorhandene, sondern jede mögliche Ausstattung mit Potentialfaktoren einzubeziehen (hätte)"¹⁴⁾. Diese theoretische Maximalforderung läßt sich jedoch im Hinblick auf ein fixiertes Leistungsprogramm insofern pragmatisch eingrenzen, als nur mehr die Ausstattungsmöglichkeiten einbezogen werden, die dem Entscheidungsorgan produktionstechnisch und ökonomisch sinnvoll erscheinen. Eine solche Definition wird der unvollkommenen Information des Entscheidungsträgers gerecht.¹⁵⁾

Auf der Grundlage eines ausgewählten Produktionsprogrammes sind nun für jede Fertigungsstufe k die zweckmäßigen Elementarkombinationsarten j und deren Verbrauchsfunktionen zu ermitteln.¹⁶⁾ In einem Entscheidungsalgorithmus wird sodann unter "Einfrieren aller anderen Parameter"¹⁷⁾ eine zielgerichtete Abstimmung zwischen der maximalen Potentialfaktornutzzeit $T_{ix,max}$ einerseits und den Verteilungsparametern $v_{jku}^{(1)}$ andererseits angestrebt.¹⁸⁾

13) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 489.

Diese Prämisse ist insofern folgerichtig, als der zeitliche Aspekt von Investitionsentscheidungen bei stationären Produktionsverhältnissen mit einer statischen Produktionsfunktion ohnehin nicht erfaßt werden kann. Der stationäre Zustand alternativer Ausstattungen hingegen kann mittels parametrischer Variation - dies ist hier gleichbedeutend mit dem Übergang auf eine neue Produktionsfunktion - untersucht werden.

14) Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 489 Fußnote 286.

15) Vgl. S. 7 dieser Arbeit.

16) Ändert sich auch die mögliche Fertigungsstruktur, so sind die Endprodukte mit einem Strukturindex zu versehen. Der gesamte Endproduktbedarf ist dann durch die produktionstechnisch verschiedenen strukturierten Varianten zu decken.

17) Hierin zeigt sich deutlich, daß den Entscheidungen der übergeordneten Ebene bestimmte Annahmen über das Verhalten der nachgeschalteten Stufe zugrunde liegen müssen.

18) Zur Definition der Variablen $T_{ix,max}$ und $v_{jku}^{(1)}$ siehe S. 38 und S. 34 dieser Arbeit.

Innerhalb des langfristigen Entscheidungsbereiches steht nicht die Belegung des einzelnen Aggregates, sondern die Abstimmung der Gruppenkapazitäten mit dem Produktionsprogramm im Vordergrund. Infolgedessen empfiehlt es sich, zur Verringerung des Planungsaufwandes gleichartige Potentialfaktoren im Modell zu einer Faktorgruppe i zusammenzufassen.¹⁹⁾ Setzt man ferner die Prämisse, daß der Bestand an Potentialfaktoren nur zu Beginn oder Ende einer Periode variiert werden kann, so lautet die Definitionsgleichung für die maximale Periodennutzzeit:²⁰⁾

$$(2.1) \quad T_{ix, \max} = t_{ix} \cdot z_{ix} = t_{ix} \cdot (z_{ix-1} + z_{ix}^+ - z_{ix}^- - z_{ix-1}^A)$$

- wobei: t_{ix} = Arbeitszeit in Periode x bei der Faktorgruppe i
- z_{ix} = Bestand an Potentialfaktoren der Gruppe i zu Beginn der Periode x
- z_{ix}^+ = Bestandsmehrung der Gruppe i zu Beginn der Periode x durch Kauf von Faktoren
- z_{ix}^- = Bestandsminderung durch Verkauf von Faktoren zu Beginn der Periode
- z_{ix-1}^A = Bestandsminderung durch Abnutzung von Faktoren zum Ende der vorhergegangenen Periode.
- $z_{ix}^+, z_{ix}^-, z_{ix}^A$ = ganzzahlig

In Gleichung (2.1) symbolisieren die unabhängigen Variablen z_{ix}^+ und z_{ix}^- die periodisch wiederkehrenden Entscheidungsstatbestände (Aktionsparameter), während der Parameter z_{ix-1}^A das Ergebnis aller vorausgegangenen Ausstattungsent-

19) Eine angenommene Belegungsregel determiniert dann die gruppeninterne Arbeitsverteilung. Diese wiederum bildet die Grundlage für die Ableitung der durchschnittlichen Gruppen-Verbrauchsfunktion und Gruppenkoeffizienten. Die durch Prognosewerte bedingte Ungenauigkeit des Langzeit-Modells rechtfertigt diese Durchschnittsbildung.

20) Diese Prämisse wurde lediglich zum Zwecke der formalen Vereinfachung gesetzt. Bei längeren Perioden ist sie jedoch nicht unproblematisch, so daß hier die Ganzzahligkeitsbedingung der z -Variablen entfällt und an ihre Stelle zusätzliche Nebenbedingungen treten.

scheidungen und verbrauchsbedingten Bestandsminderungen enthält. Er legt gemeinsam mit der "Ausfall"-Variablen z_{ix-1}^A , die selbst eine Funktion der vorangegangenen Nutzungsbeanspruchung ist²¹⁾, den Ausgangszustand des Systems zum Beginnzeitpunkt der Periode x fest.

Der für die Ausstattungsentscheidung der Faktorgruppe i relevante Bedarf an Periodennutzzeit T_{ixN} wird häufig durch die verfügbare Gesamtnutzzeit $T_{lx,max}$ anderer Faktorgruppen l beeinflusst. Derartige zeitlich-horizontale Interdependenzen, die durch Komplementarität bzw. Substitutionalität von Faktorgruppen hervorgerufen werden²²⁾, erfordern eine simultane Festlegung aller interdependenten Ausstattungsentscheidungen einer Periode. Da jedoch in jeder Periode Ausstattungsentscheidungen anstehen und zudem die Lebensdauer der einzelnen Potentialfaktoren unterschiedlich ist, hängt der Bedarf an Potentialfaktornutzzeit T_{ixN} auch von den zurückliegenden Entscheidungen ab, die über den Parameter z_{lx-1} die vorhandene Gesamtnutzzeit $T_{lx,max}$ der kompetentären Faktorgruppe l mitbestimmen. In gleicher Weise beeinflussen zukünftige Ausstattungsentscheidungen eines komplementären Faktors l in einer Periode $x + u$ den Bedarf an Potentialfaktornutzzeit T_{ix+uN} . Derartige zeitlich-vertikale Interdependenzen erfordern eine dynamische Problemlösung und eine Ausdehnung des theoretischen Planungszeitraumes bis zur Liquidation der Unternehmung. Die mangelnde Prognosemöglichkeit jedoch schränkt diesen theoretischen Zeitraum pragmatisch auf den relevanten Planungshorizont ein.²³⁾

21) Die Ableitung derartiger Verbrauchsfunktionen für Potentialfaktoren wird im Kapitel 2.3.1.1. auf S. 99 dieser Arbeit behandelt.

22) Diese Interdependenz wird produktionstheoretisch durch die Zahl der verschiedenartigen Elementarkombinationsmöglichkeiten einer Stufe k und die damit verbundene Wahl der Verteilungsparameter dargestellt.

23) Zur Definition des relevanten Planungszeitraumes vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 103.

2.1.2. Programmentscheidungen bei gegebenen Kapazitäten

Der Untersuchungsgegenstand des dargelegten Entscheidungsbereiches bestand in einer möglichst zweckmäßigen Potentialfaktorausstattung auf der globalen Basis einer Projektion des Fertigungsprogrammes oder konjekturaler Preis-Absatz-Funktionen. In der folgenden Entscheidungsstufe wird nun der Planungszeitraum derart eingeschränkt, daß die geringe zeitliche Flexibilität der Ausstattungsvariablen eine Variation des Potentialfaktorbestandes nicht mehr zuläßt. Durch Ausnützung der verbliebenen programmbezogenen Freiheitsgrade²⁴⁾ wird jetzt eine zielgerichtete Auslastung des vorhandenen Nutzungspotentials angestrebt.

Setzt man die Prämisse, daß eine artmäßige Variation des Fertigungsprogrammes nur langfristig möglich ist²⁵⁾, so reduziert sich der mittelfristige Entscheidungsbereich auf die Mengen- und Zeitkomponente als Programmvariable. Das Fertigungsprogramm (FP) wird dann durch folgenden Ausdruck gekennzeichnet:²⁶⁾

$$(2.2) \quad \text{FP} = \sum_{l=1}^{\bar{s}} \sum_{u=x}^{x^M} x_{lu}$$

-
- 24) Diese werden, durch eine weitere zeitliche (Untergliederung des Planungszeitraumes in kleinere Perioden) und sachliche (weitere Aufgliederung der aggregierten Größen) Spezifizierung hervorgerufen.
- 25) Diese Annahme wird durch den meist langen Dispositionszeitraum (Entwicklungsphase) gerechtfertigt. Die Menge s der Produktarten ist dann konstant ($s = \bar{s}$).
- 26) x^M grenzt den mittelfristigen Planungszeitraum in Richtung Zukunft ab. Die Variabilität in Richtung Gegenwart wird dadurch begrenzt, daß begonnene Arbeitsprozesse meist nur schwierig zu unterbrechen sind und die Vorlaufzeiten der Zwischenprodukte nicht in die Vergangenheit fallen dürfen.

Der zulässige Variationsraum dieser Programmkomponenten wird durch die Art der Fertigungsdisposition²⁷⁾ beeinflusst, deren extreme Formen durch das marktorientierte und das auftragsorientierte Unternehmen repräsentiert werden.

Die Verknüpfung von Absatz- und Produktionskurve unter Aufrechterhaltung eines bestimmten Wahrscheinlichkeitsgrades der Lieferbereitschaft bildet das Kernproblem einer marktorientierten Fertigung. Diese Entscheidungen fallen auf jeder Fertigungsstufe an, wenn diese nach Verbrauchssichtspunkten stochastisch disponiert werden. Die jeweilige zeitliche Verteilung der Auftragsgrößen unter Berücksichtigung ihrer kapazitätsbedingten Interdependenzen (Reihenfolgeproblem) determiniert sodann die Belegung der Faktorarten. Auftragsorientierte Unternehmen sind in der Regel durch eine synchrone Absatz- und Produktionskurve gekennzeichnet. Hier ist es die Aufgabe dieses Entscheidungsgebietes, einmal die Absatzkurve durch eine zweckmäßige Angebotsterminierung dergestalt zu beeinflussen, daß die Produktionskurve eine möglichst günstige Kapazitätsauslastung aufweist, und zum anderen den verbliebenen Dispositionsspielraum in Richtung Gegenwart für eine zielgerechte Fertigungsdisposition auszunützen.

Dem Problemkreis dieser Stufe unterliegt es ferner, Abweichungen von den projizierten Absatzgrößen durch mittelfristige Programmentscheidungen möglichst zu egalisieren. Zusätzliche Lageraufträge oder absatzpolitische Maßnahmen (z.B. Preispolitik) können häufig mittelfristig eine verbesserte Auslastung des Nutzungspotentials erwirken. In Zeiten der Überbeschäftigung hingegen ist zu entscheiden, inwieweit durch Fremd- und/oder Lohnfertigung die Kapazitäten sinnvoll entlastet werden können und/oder inwieweit

27) Vgl. hierzu Kap. 1.3., S. 38

dieser Arbeit.

man auf die Ausnutzung von Absatzmöglichkeiten verzichten soll.

Bisher wurden die Fertigprodukte als voneinander unabhängig angesehen. Besteht jedoch zwischen den einzelnen Produkten eine Ertrags-²⁸⁾ oder Kostenverbundenheit²⁹⁾ (z.B. Kuppelproduktion), so verursacht dies eine weitere Komplizierung des Lösungsprozesses.

2.1.3. Die Wahl der Prozeßparameter zur Steuerung der Produktion

Der Übergang in diesen kurzfristigen Entscheidungsbereich hat eine weitere Verkürzung des Planungszeitraumes, verbunden mit einer erneuten zeitlichen und sachlichen Aufgliederung, zur Folge. Kleinere Zeiteinheiten (Stunden, Tage, Wochen) und engere Sachbegriffe (Bearbeitungslose, Arbeitsgänge, Einzelaggregate) sind die Elemente, die auf der Basis eines gegebenen Potentialfaktorbestandes und eines weitgehend determinierten Fertigungsprogrammes im Sinne einer maximalen Zielerreichung zeitlich und räumlich kombiniert werden sollen.

Vielfach wird bei einer derartigen Planung des Produktionsablaufes - insbesondere der Reihenfolgeplanung - a priori eine Konkurrenz der Ziele "Minimierung der Durchlaufzeit" und "Maximierung der Kapazitätsausnutzung" unterstellt.³⁰⁾ Günther legt jedoch dar, daß

a) eine derartige Zielkonkurrenz bei konstanten Kapazitäten und gegebenem Fertigungsprogramm nur teilweise vorhanden

28) Riebel, P., Ertragsbildung und Ertragsverbundenheit im Spiegel der Zurechenbarkeit von Erlösen, in: Riebel, P., (Hrsg.), Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Ertragslehre, Festschrift für Erich Schäfer, Köln und Opladen 1971, S. 147-200.

29) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 236.

30) Vgl. Gutenberg, E., Produktion, a.a.O., S. 215.

ist³¹⁾ und

b) die Relevanz dieser Ziele nur in bestimmten Situationen nachweisbar ist³²⁾.

Im Rahmen der kurzfristigen Ablaufplanung ist die Kapazität nicht mehr als konstant anzusehen, da durch zeitliche Maßnahmen (Überstunden, Kurzarbeit) eine Flexibilität des Nutzzeitangebotes $T_{ix,max}$ erreicht werden kann. Derartige kapazitive Eingriffe bedürfen einer zielorientierten Abstimmung mit den bedarfsseitig anwendbaren Instrumenten.

Innerhalb der durch die Dispositionsform gesetzten Grenzen ist auf den einzelnen Fertigungsstufen eine Transformation der Auftragsgrößen in Bearbeitungslose vorzunehmen. Splitting oder Losbildung beeinflussen über die Wiederholungsfunktion den Nutzzeitbedarf T_{ixN} . Die zeitliche Zuordnung dieser Bearbeitungslose auf die einzelnen Potentialfaktoren bildet das Kernproblem der Ablaufplanung. So bestimmt die Auftragsfolge (Sortenwechsel) bei den einzelnen Aggregaten den für die Rüstzeit benötigten Kapazitätsbedarf.³³⁾ Weiterhin kann die zeitliche Zuordnung einerseits Warteschlangen bei den einzelnen Aggregaten erzeugen, wodurch die Durchlaufzeit der betroffenen Aufträge verlängert wird, andererseits aber auch bei einigen Potentialfaktoren Leerzeiten hervorrufen. Die Reihenfolge der Bearbeitungsaufträge ist so zu bestimmen, daß diese Konsequenzen zu einer dem Anspruchsniveau gemäßen Zielerreichung führen.

31) Günther, H., Das Dilemma der Arbeitsablaufplanung. Zielverträglichkeiten bei der zeitlichen Strukturierung, Berlin 1971, S. 45 ff. (Zitierweise: Das Dilemma).

32) Vgl. Günther, H., Das Dilemma ..., a.a.O., S. 86 ff. und Kap.2.2.2.S.91 ff. dieser Arbeit.

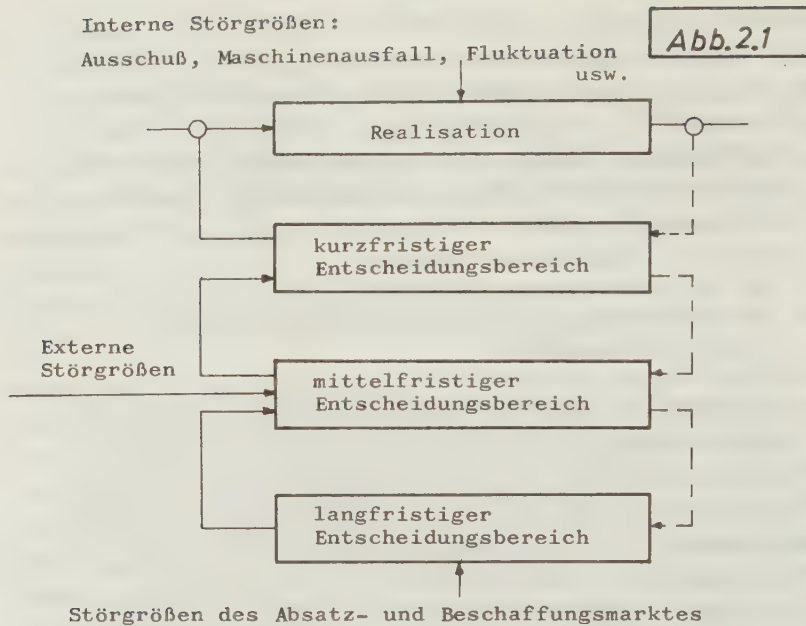
33) Die Disposition nach "Teilefamilien" versucht diesen Effekt auszunutzen. Eine derart isolierte Behandlung kann jedoch in anderen Bereichen nachteilige Auswirkungen hervorrufen.

Neben diesen organisatorischen Steuerungsmöglichkeiten stehen zur Variation des Nutzzeitbedarfes T_{ixN} noch prozeßbezogene Parameter zur Verfügung, die in einer Änderung der Basisprozeßzeit³⁴⁾, des Outputniveaus und der Faktorkombination zum Ausdruck kommen. Der Einsatz dieser Instrumente wird jedoch weitgehend durch die technologische Eigenart der Basisprozesse bestimmt.

2.1.4. Die Verknüpfung der Entscheidungsbereiche zu einem Planungssystem

Die Darstellung der Entscheidungsbereiche ging bisher von einer rein sukzessiven Verbindung aus. Eine derartige Vorgehensweise wird jedoch den starken Interdependenzen der Bereiche nicht gerecht. Um die Auswirkungen nachgeordneter Entscheidungen bei der "endgültigen" Festlegung vorgelagerter Aktionsparameter berücksichtigen zu können, versucht man, sich durch Rückkoppelungsprozesse einer Simultanplanung anzunähern (Abb. 2.1). Damit jedoch nicht jede Entscheidung des kurzfristigen Bereiches zu einer Revision der langfristigen Planung führt, wird durch die Bestimmung der Planungsfrequenz die Trägheit der Regelkreise dem Informationswert entsprechend aufeinander abgestimmt. Während der kurzfristige Entscheidungsbereich durch eine sehr hohe Planungsfrequenz gekennzeichnet ist - den Extremfall bildet die "Real-Time-Planung" -, nimmt die Frequenz mit zunehmender Fristigkeit der Bereiche ab.

34) Mit dem Übergang zur fertigungswirtschaftlichen Untersuchung wird die Elementarkombination "mit der Grundkomponente des Ablaufprozesses, dem einzelnen Arbeitsgang" gleichgesetzt. Die Einführung des Begriffes "Basisprozeß" bringt dies zum Ausdruck. Vgl. Fäßler, K./Reichwald, R., Fertigungswirtschaft, a.a.O., S. 296.



Innerhalb der einzelnen Bereiche wurde bisher eine Simultanplanung unterstellt. Die vielfachen wechselseitigen Abhängigkeiten der bereichsinternen Aktionsparameter lassen jedoch in einigen Fällen bis heute noch keine Simultanmodelle zu. Dies hat zur Folge, daß auch teilweise innerhalb der Bereiche durch "parametrische Variation" oder "Sukzessivprozesse mit Rückkoppelung" eine Annäherung an die Simultanplanung angestrebt wird.

2.2. Die Problematik operationaler Zielfunktionen

Eine rationale Abstimmung der einzelnen bereichsinternen Aktionsparameter hat zur Voraussetzung, daß die Entscheidungsträger die Konsequenzen ihrer Handlungsalternativen

anhand bestimmter Zielvorstellungen beurteilen können. Die auf den Entscheidungsträger abgestellte Meßbarkeit und Verständlichkeit dieser Entscheidungskriterien sind daher die Merkmale einer operationalen Zielfunktion.³⁵⁾

Weisen die unmittelbaren Auswirkungen autonomer Parameteränderungen andere Dimensionen als die zugrundeliegenden Ziele auf, so kann eine Beurteilung ihrer Zielrelevanz nur nach einem vom Entscheidungsträger durchzuführenden Transformationsprozeß erfolgen. In dem Maße, in dem eine derartige Transformation subjektive Bewertungselemente enthält, wird bereits in dieser Phase die spätere Entscheidungsfindung durch persönliche Wertvorstellungen des (der) Entscheidenden beeinflusst. Das Ausmaß dieser Subjektivismen beeinträchtigt die Objektivität der Messung und damit die Operationalität des übergeordneten Entscheidungskriteriums.

Die Zielerreichung im sukzessiven Entscheidungsprozeß wird weitgehend dadurch mitbestimmt, inwieweit sich die Entscheidungsträger auf den einzelnen Stufen an einheitlichen Zielvorstellungen orientieren. Da zugleich die Operationalitätsbedingung für die nachgeordneten Entscheidungsbereiche eine stetig zunehmende Konkretisierung der Ziele erfordert, kann deren Identität nur gewahrt werden, wenn den Zielketten Mittel-Zweck-Beziehungen zugrunde liegen. Dieser Mittel-Zweck-Charakter wird durch die Art der Komplementaritätsbeziehung und durch das Anspruchsniveau der Entscheidungsträger determiniert.³⁶⁾

Besteht zwischen den Zielen einer übergeordneten und einer nachgeordneten Entscheidungsstufe dieser Mittel-Zweck-Zusammenhang nicht, so wird der im untergeordneten Entscheidungsbereich verbliebene Handlungsspielraum nicht zur Erhöhung

35) Vgl. Heinen, E., Zielsystem, a.a.O., S. 115 ff.

36) Vgl. ebenda, S. 102 ff.

der übergeordneten Zielerreichung genutzt. Eine Verschlechterung dieses Zielerreichungsgrades kann sogar dadurch hervorgerufen werden, daß die Entscheidung der nachgeordneten Stufe über eine Rückkoppelungsinformation eine Revision der vorgelagerten Entscheidung nach sich zieht. Die Entwicklung von Zielhierarchien bedarf somit einer sorgfältigen Analyse.

2.2.1. Die Relevanz pagatorischer und wertmäßiger Ziele für lang- und mittelfristige Bereichsentscheidungen

Die Mechanismen der freien Marktwirtschaft vollziehen sich auf der Basis der nach dem erwerbswirtschaftlichen Prinzip handelnden Unternehmungen. Seinen typischen Ausdruck findet dieses Prinzip im Streben nach Gewinnmaximierung. Im langfristigen Entscheidungsbereich der Unternehmung erfährt dieses Ziel durch die Maximierung des Totalerfolges seine Konkretisierung. Da im externen Bereich der Unternehmung während ihrer Lebensdauer allen Realgüterprozessen, mit Ausnahme des Naturaltausches, Nominalgüterprozesse entsprechen³⁷⁾, ist der Totalerfolg durch die Differenz der Einnahmen- und Ausgabenströme operational definiert.

Wird der zeitliche Entscheidungsbereich auf einen mittelfristigen Planungszeitraum eingeschränkt, so ist die Identität von Real- und Nominalgüterprozessen innerhalb dieses Zeitraumes nicht gewährleistet. Die Geldströme sind vielmehr auf den jeweiligen Betrachtungszeitraum zu beziehen.

37) Der zeitliche Unterschied der Zahlungen ist in der Totalbetrachtung bedeutungslos, da sämtliche Geldbewegungen innerhalb des Untersuchungszeitraumes stattfinden. Zu den unternehmensbezogenen Güterprozessen vgl. Heinen, E., Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1968, S. 66 f.; Kosiol, E., Einführung in die Betriebswirtschaft, a.a.O., S. 144 f.

Die derart abgeleiteten Periodengrößen Aufwand und Ertrag bilden daher die operationale Grundlage für die Maximierung des mittelfristigen Unternehmensgewinnes. Da diese Aufwands- und Ertragsrechnung lediglich eine gedankliche Umverteilung der Zahlungsströme vornimmt³⁸⁾, kann durch zeitliche Ausdehnung des Planungszeitraumes mittels dieser Größen ebenso eine langfristige Erfolgsmaximierung durchgeführt werden. Die Identität der Zielvorstellungen ist somit gegeben.

Entscheidungen in der mittelfristigen Produktionsplanung erfolgen meist nicht auf der Ebene des Unternehmensbereiches, sondern werden auf nachgeordneten Teileinheiten delegiert. Für einen derart abgegrenzten "Betriebsbereich" sind jedoch die pagatorischen Größen nicht mehr operational. Da betriebsneutrale Erfolgskomponenten keine bereichsinternen Entscheidungstatbestände darstellen, bilden alleine die leistungsbezogenen Komponenten Kriterien der Entscheidung. Die Abspaltung dieses neutralen Entscheidungsfeldes ist jedoch nur zulässig, wenn die Knappheit der Faktoren Eigenkapital und Unternehmerarbeit berücksichtigt wird.³⁹⁾ Die wertmäßig definierten Begriffe Leistung und Kosten geben diesen Sachverhalt wieder.⁴⁰⁾ Die Maximierung der Differenz dieser Größen bildet daher die Zielfunktion des betriebsinternen mittelfristigen Entscheidungsbereiches, wobei jedoch deren Meßbarkeit wegen der subjektiv beeinflussten

38) Vgl. Kosiol, E., Kalkulatorische Buchhaltung, 4. Auflage, Wiesbaden 1950, S. 15.

39) Die Berücksichtigung der Knappheit soll eine optimale Verteilung der Faktoren einerseits auf den neutralen und leistungsbezogenen Bereich und andererseits innerhalb der Bereiche auf die verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten gewährleisten. Neben der zeitlichen Zuordnung der Erfolgskomponente (vgl. S. 80 dieser Arbeit) ist hier auch ein Bewertungsprozeß erforderlich. Vgl. hierzu auch: Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 107.

40) Zur Definition der Begriffe vgl. Heinen E., Kostenlehre, a.a.O., S. 55 ff.

Wertkomponente problematischer ist als die Bestimmung der pagatorischen Größen.

Wendet man bei der (Leistungs-)Kostenrechnung Wertansatz und Bewertungsverfahren der (Ertrags-)Aufwandsbetrachtung an, so unterscheiden sich Zweckaufwand (-ertrag) und Kosten (Leistungen) nur mehr durch die wesensverschiedenen Zusatzkosten (-Leistungen). Dieser Einbezug der Faktorenknappheit⁴¹⁾ gewährleistet, daß eine Gewinnsteigerung im Betriebsbereich nicht durch eine Gewinnminderung im neutralen Bereich überkompensiert wird. Da die Maximierung des Betriebsgewinnes somit zu einer Steigerung des Unternehmensgewinnes führt, ist die Identität der Zielvorstellungen gewährleistet.

Organisatorischer E.-Bereich	Zeitlicher E.-Bereich	Zielfunktion	Zielkomponenten
Unternehmung	langfristig	Totalerfolg	Einnahmen-Ausgaben
	mittelfristig	Periodenerfolg	Ertrag-Aufwand
Betrieb	mittelfristig	Betriebsgewinn	Leistung-Kosten
	kurzfristig	Betriebsgewinn	Leistung-Kosten

Tabelle 1

Die soeben vollzogene Ableitung der für die einzelnen Entscheidungsbereiche relevanten Zielfunktionen (Tabelle 1)⁴²⁾ bei Identität der Zielvorstellungen bewirkt nicht zwangsläufig, daß durch Verfolgung des Unterzieles auch das absolute

41) Heinen bezieht diese wesensverschiedenen Zusatzkosten nur auf die Faktoren Eigenkapital und Unternehmerarbeit (siehe Kostenlehre, a.a.O., S. 96). Hier wird jedoch davon ausgegangen, daß die Differenz zwischen Aufwands- und Knappheitsbewertung bei allen Faktorarten ein Element der wesensverschiedenen Zusatzkosten ist.

42) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 104.

Optimum des Oberzieles erreicht wird. Eine derartige Abweichung ist jedoch nicht auf die mangelnde Komplementarität der Ziele, sondern auf die Vernachlässigung von Interdependenzen zurückzuführen, die durch die zeitliche Unterteilung des Entscheidungsfeldes entsteht.

2.2.2. Die Problematik von Zeit- und Kostenzielen im kurzfristigen Entscheidungsbereich

Um die Willensbildung in diesem untergeordneten betriebsinternen Entscheidungsbereich im Sinne des Oberzieles zu steuern, sind den Entscheidungsträgern entsprechende Ziele vorzugeben. Die Ableitung dieser Kriterien zur Festlegung der Parameter hat auf den Zielvorstellungen des übergeordneten Entscheidungsbereiches zu basieren. Stellt das übergeordnete Ziel jedoch selbst eine operationale Handlungsmaxime für die Entscheidungsträger des nachgeordneten Bereiches dar, so wird eine Ableitung durch die Übertragung dieses Zieles überflüssig.

Bei gegebenem Zweckleistungsprogramm kann die Zielfunktion der Gewinnmaximierung durch die Minimierung der Kosten ersetzt werden. Die Überprüfung der Operationalität beschränkt sich somit auf die Kostenkomponente.

Der entscheidungsträgerbedingte Aspekt⁴³⁾ der Operationalität wird durch die organisatorische Gestaltung der Entscheidungsprozesse stark beeinflusst. Eine Dezentralisation der Entscheidungen und die damit verbundene Delegation auf nachgeordnete Instanzen hat zur Folge, daß die Handlungsziele wegen der begrenzten Möglichkeiten der Informationsbeschaffung und -verarbeitung ständig weiter konkretisiert werden müssen. Da von Mitgliedern unterer Organisationsebenen die

43) Vgl. hierzu Heinen, E., Zielsystem, a.a.O., S. 117.

Kostenwirkungen der Handlungsalternativen häufig nicht mehr beurteilt werden können, bilden Kostenziele hier keine operationale Handlungsmaxime. Eine Verbesserung der Informationsversorgung läßt sich jedoch häufig durch eine Zusammenfassung von Entscheidungsaufgaben auf höherer Ebene erreichen. Gerade die Anwendung von elektronischen Datenverarbeitungsanlagen fördert eine derartige Zentralisation. Auf der Basis dieses organisatorischen Vollzugs kann für eine zentrale Planungsinstanz der Tatbestand der subjektiven Operationalität von Kostenzielen durchaus als gegeben angesehen werden.

Der definitionslogische Aspekt der Operationalität ist als gesichert anzusehen, wenn die Konsequenzen der Handlungsalternativen anhand von Meßvorschriften eindeutig beurteilt werden können.⁴⁴⁾ Die Untersuchung zielt daher darauf ab, die Auswirkungen der kurzfristigen Bereichsentscheidungen auf den bewerteten Güterverzehr darzulegen. Hierbei zeigt sich, daß die Primärwirkungen der Alternativen einerseits den direkten Gutsverzehr (Faktorverbrauch) und andererseits den zeitlichen Produktionsvollzug betreffen. Die Überführung dieser unterschiedlichen Tatbestände in die Kosten-dimension bildet die Problematik von Kostenzielen (Abb.2.2).

Die Instrumente der kurzfristigen Kapazitätsanpassung verursachen in erster Linie eine Änderung des Faktorverzehrs. Besonders deutlich kommt dies bei der zeitlichen Anpassung durch die Auswirkungen auf den Arbeitsverzehr⁴⁵⁾ und bei der intensitätsmäßigen Anpassung durch die Variation der technischen und ökonomischen Verbrauchsfunktionen zum Ausdruck. Die Meßbarkeit dieses Faktorverzehrs kann grundsätz-

44) Vgl. Heinen, E., Zielsystem, a.a.O., S. 115.

45) Die Änderung des Faktorverzehrs wird hierbei wesentlich von der Form der Arbeitsentlohnung determiniert (vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 257).

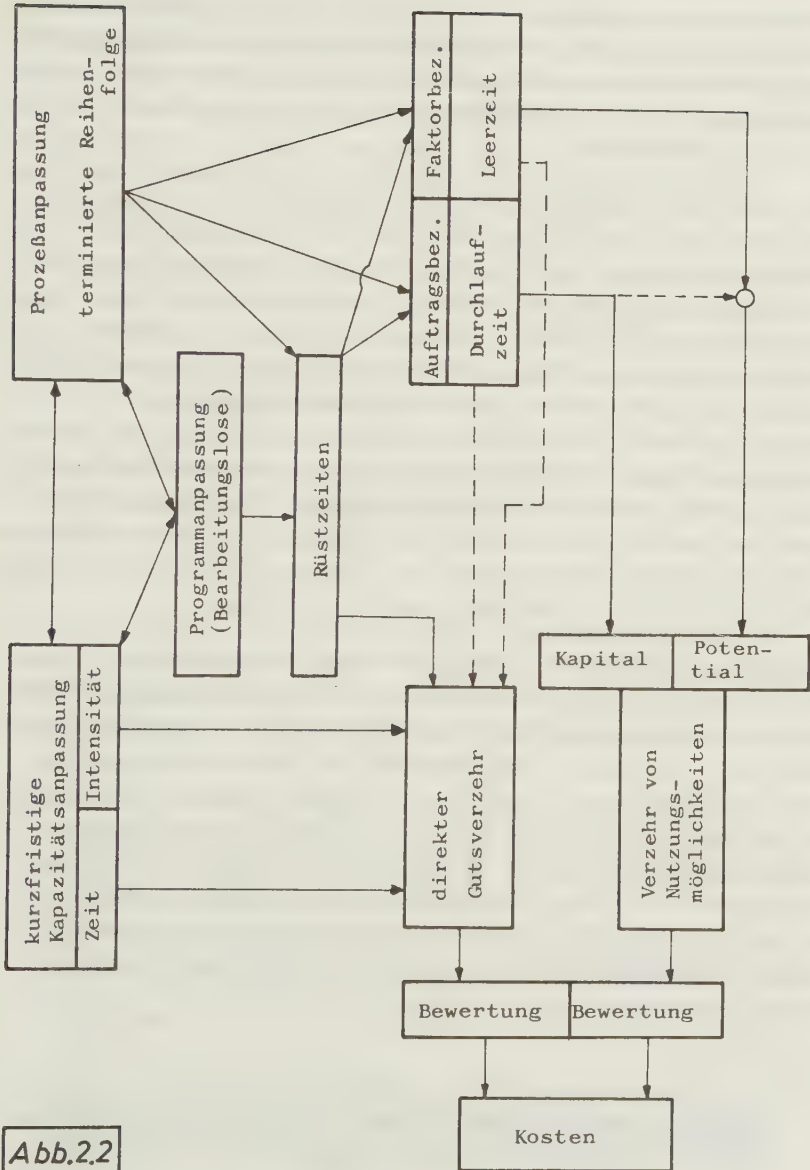


Abb.2.2

lich als gegeben angenommen werden.⁴⁶⁾ Neben diesen Primärwirkungen initiieren die kapazitiven Maßnahmen jedoch auch Änderungen der terminierten Reihenfolge und/oder der Bearbeitungslose und beeinflussen hierüber den zeitlichen Ablauf der Produktion.

Die Größe der Bearbeitungslose bestimmt für ein vorhandenes Fertigungsprogramm den Gesamtbedarf an Rüstzeiten. Über ihre Verbrauchsfunktionen verursachen diese sekundären Basisprozesse den Verzehr von Produktionsfaktoren. Da jedoch die Rüstzeiten zugleich Bestandteile der auftragsbezogenen Durchlaufzeit sowie der faktorbezogenen Belegungszeit sind, beeinflussen sie direkt den zeitlichen Vollzug der Produktion. Gleichzeitig impliziert die Zusammenfassung von Bearbeitungsaufträgen zu Losen bereits eine bestimmte Reihung, so daß stets auch über eine Änderung der terminierten Reihenfolge der zeitliche Produktionsablauf mitgesteuert wird. Schließlich kann die Änderung der Losgröße auch kurzfristige Maßnahmen zur Kapazitätsanpassung induzieren.

Durch die Vergabe von Aufträgen an Potentialfaktoren werden diese für die Zeit der Bearbeitung für andere Aufgaben blockiert. Eine derartige zeitliche Zuordnung erzeugt daher jeweils eine terminierte Reihenfolge von Bearbeitungsaufträgen. Der auftragsbezogene Aspekt dieses Zeitphänomens kommt in der Durchlauf- und Nachlagerzeit zum Ausdruck. Hierbei umfaßt die Durchlaufzeit eines Auftrages den Zeitraum vom Auftragseingang (bzw. Auftragsvergabe) bis zum Abschluß des letzten Bearbeitungsprozesses. Die Nachlagerzeit symbolisiert den bis zum Bedarfszeitpunkt des Produktes verbleibenden Zeitraum.

46) Probleme bestehen bei der Messung des Verbrauches von Potentialfaktoren. Jedoch lassen sich hierfür durchaus praktikable Näherungslösungen anwenden, vgl. hierzu Kap. 2.3.1., S. 98 dieser Arbeit.

Diese auftragsspezifischen Zeiten wirken in zweifacher Weise auf das Kostenniveau ein. Zum einen kann durch die enthaltenen Lagerzeiten selbst ein Güterverzehr verursacht werden (z.B. Schwund, Wartung). In der Regel jedoch werden die Lagerkosten (z.B. Raum, Personal) durch längerfristige Entscheidungen festgelegt, welche dann als Nebenbedingungen den kurzfristigen Entscheidungsbereich begrenzen.⁴⁷⁾

Die zweite Kostenwirkung geht von den induzierten Geldbewegungen aus, deren Zeitpunkte jeweils durch die auftragsbezogenen Bearbeitungszeiten bestimmt werden.⁴⁸⁾ In der Zeit zwischen der Realisierung der auftragsbezogenen Ausgaben und Einnahmen ist in Höhe der jeweiligen Differenz der Geldbeträge das Kapital fest gebunden. Da somit innerhalb dieses Zeitraumes der knappe Faktor Kapital nicht anderweitigen Verwendungsmöglichkeiten zugeführt werden kann, entsteht durch dessen Bindung ein Verzehr von Nutzungsmöglichkeiten.⁴⁹⁾

Die Bewertung dieses Nutzenentgangs setzt voraus, daß neben dem Vorhandensein anderer Verwendungsmöglichkeiten auch deren Auswirkungen auf die Zielerreichung bekannt bzw. prognostizierbar sind.⁵⁰⁾ Das "Opfer" für die Durchführung der

47) Eine weitere Beschränkung kann durch die Vorgabe von Lieferterminen eingeführt werden. In diesem Falle tritt bei Überschreitung einer bestimmten Durchlaufzeit durch eventuelle Mindereinnahmen (Konventionalstrafen) ein Verzehr des Nominalgutes "Geld" auf.

48) Dieser Zusammenhang zwischen Durchlaufzeit und Geldbewegung wird im wesentlichen von der Art der Materialdisposition beeinflusst. Während bei Einzelbestellungen der Zusammenhang direkt gegeben ist, wird er bei Losgrößenbestellung durch die Bestellmengenpolitik relativiert.

49) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 65.

50) Wegen der unvollkommenen Information gibt man sich meist mit Standardalternativen zufrieden. Diese berücksichtigen die kurzfristigen Möglichkeiten der Tilgung und Vergabe von Krediten, sowie der Anlage im Bankbereich.

einen Alternative ist dann im Verzicht auf die höchstmögliche Zielerreichung der nicht realisierten Alternativen zu sehen. Der Ansatz eines derartigen Nutzenentganges spiegelt die Kosten dieser Alternative wieder.

Der potentialfaktorbezogene Charakter der Terminierung von Bearbeitungsaufträgen äußert sich in der Entstehung von ablaufbedingten Leerzeiten. Auch diese Zeiten, in denen eine Nutzung der Faktoren nicht stattfindet, beeinflussen in zweifacher Weise das Kostenniveau. Unterliegt ein Potentialfaktor sowohl zeitabhängigem als auch leistungsabhängigem Verzehr, so wird durch eine unterbleibende Nutzung die Lebensdauer des Faktors verlängert.⁵¹⁾ In dem Maße, in dem durch diese Verlängerung der Lebensdauer der Anteil des Zeitverzehrs vergrößert wird, entsteht durch Leerzeiten ein direkter Gutsverzehr. Weiterhin kann durch die Erfordernis von stillstandsbedingten Maßnahmen (z.B. besondere Wartung, Pflege) ein direkter Gutsverzehr verursacht werden.

Die Beschaffung der Potentialfaktoren dient dem Zwecke der Erreichung des Unternehmenszieles. In den Zeiten jedoch, in denen diese Faktoren infolge der zeitlichen Strukturierung der Prozesse stillstehen, besteht keine Möglichkeit zur zielgerechten Nutzung dieser Potentiale. Der durch diese Nichtausnutzung des Potentials verwirkte Beitrag zur Zielerreichung bildet die Basis für die Bewertung des Verzehrs. Hierbei muß jedoch berücksichtigt werden, daß das Sachziel der Unternehmung meist mittels eines mehrstufigen Produktionsprozesses erstellt wird. Die Umwandlung von Stillstandszeit in Bearbeitungszeit ist in diesem Fall nur

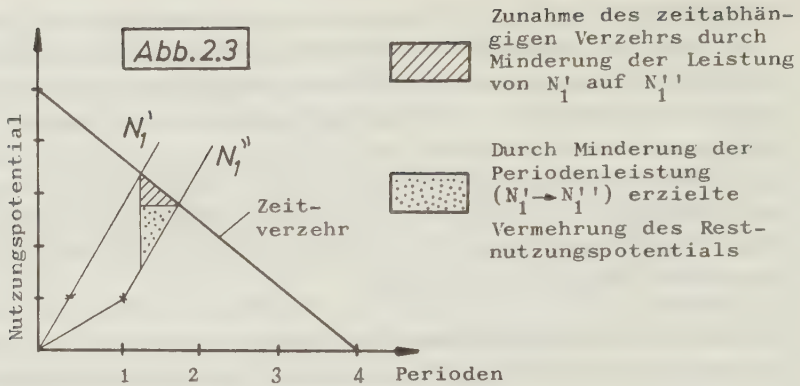
51) Unterliegt der Faktor nur dem Zeitverzehr, so hat die Aufteilung in Nutz- und Leerzeit keinen Einfluß auf den Faktorverzehr. Wird andererseits nur ein leistungsbezogener Verschleiß wirksam, so verursacht die Leerzeit keinen Verzehr.

möglich, wenn es durch Änderung der Auftragsreihenfolge gelingt, bei den erforderlichen Potentialfaktoren die zeitliche Struktur der Leerzeiten der technologischen Bearbeitungsreihenfolge einer Erzeugnisart anzupassen.⁵²⁾ Lediglich, wenn derartige Reihungsmöglichkeiten bestehen, verursachen die Leerzeiten einen Verzehr von Nutzungsmöglichkeiten. Hieraus folgt zugleich, daß alleine bei einem einstufigen Produktionsprozeß der Nutzenentgang auf den Potentialfaktor bezogen werden kann.

Der Verzehr von Nutzungsmöglichkeit führt nur dann zu einem Nutzenentgang, wenn eine Mehrproduktion auch einen gewinnbringenden Mehrabsatz nach sich zieht.⁵³⁾ Die Wertkomponente dieses Verzehrs ist als Differenz der zu Marktpreisen bewerteten Mehrleistung und der zurechenbaren Mehrkosten definiert worden. Der entgangene "Deckungsbeitrag" kann auf diese Weise als Kosten der Stillstandszeit interpretiert werden.⁵⁴⁾

In Abbildung 2.3. sei das Zusammenwirken der Verzehrskomponenten bei Potentialfaktoren nochmals dargestellt. Unterstellt wird eine zeit- und leistungsbedingte Abnutzung des Potentials.

-
- 52) Dieses Problem ist äußerst komplex. Sind nur bei einem Potentialfaktor die Stillstandszeiten knapp, so kann sich das Modell näherungsweise auf die Strukturierung dieser Leerzeiten beschränken.
- 53) Diese Annahme widerspricht dem fest vorgegebenen Fertigungsprogramm. Über eine Rückkoppelungsinformation kann jedoch eine Anpassungsentscheidung im übergeordneten Entscheidungsbereich induziert werden.
- 54) Über diese Kostenkomponente gehen demnach Markteinflüsse in dieses Produktionsmodell ein. So kann z.B. berücksichtigt werden, daß eine Verlängerung der Durchlaufzeit (Lieferzeit) zu einer Senkung des Marktpreises und damit zu einer Minderbewertung der Leerzeiten führt.



Hierbei zeigt sich, daß eine Variation der Stillstandszeiten (Kapazitätsausnutzung) eine Änderung des zeitabhängigen Verzehrs (▨) bewirkt. Eine hierdurch bedingte Minderung des Nutzungspotentials stellt sowohl einen direkten Substanzverlust als auch einen eventuellen Verzehr von Nutzungsmöglichkeiten dar. Eine Verringerung der Kapazitätsausnutzung führt jedoch auf der anderen Seite zu einer Vermehrung des Restnutzungspotentials (▤). Einerseits sind also in der Periode die vorhandenen Nutzungsmöglichkeiten nicht verwertet worden, wodurch der Zielerreichungsgrad möglicherweise verkleinert wurde, andererseits kann aber die Vergrößerung des Restnutzungspotentials eine Verbesserung der Zielerreichung künftiger Perioden hervorrufen.⁵⁵⁾

Das Umrüsten der Potentialfaktoren nach Beendigung eines Bearbeitungsauftrages wird häufig von der Art des nächsten Auftrages bestimmt. Derartige reihenfolgeabhängigen Rüst-

55) Hier führt also nur eine mittelfristige Planung unter Einbezug künftiger Marktchancen zum Optimum. Es läßt sich allerdings aufzeigen, daß unter der Voraussetzung dauernder Ersatzinvestitionen der Nutzenentgang nicht mehr egalisiert werden kann. Auch spricht das Risikoverhalten für eine möglichst frühe Ausschöpfung des Nutzungspotentials.

zeiten beeinträchtigen über ihre Verbrauchsfunktionen den direkten Gutsverzehr. Da die Rüstzeit sowohl ein Bestandteil der auftragsbezogenen Durchlaufzeit als auch der faktorbezogenen Belegungszeit ist, wirkt sie über beide Zeitgrößen auf das Kostenniveau ein.

Die komplexe und nur bedingt operationale Transformation von Zeit- in Kostenwirkungen fördert eine Ablösung der Kostenziele durch Zeitziele. Die Verwendung derartiger Unterziele setzt jedoch das Vorhandensein von Komplementärbeziehungen zwischen Ober- und Unterziel voraus. Die Relevanz der zeitlichen Ziele für den kurzfristigen Entscheidungsbereich bedarf daher einer Überprüfung.

Da die Beurteilung der Alternativen nur mehr anhand zeitlicher Kriterien erfolgt, bleibt der nicht zeitinduzierte direkte Gutsverzehr bei der Wirkungsanalyse unberücksichtigt. Die zeitlichen Ziele sind somit nur dann aussagefähig, wenn es gelingt, diese Komponente konstant zu halten. Dies bewirkt, daß zum einen die Maßnahmen der kurzfristigen Kapazitätsanpassung⁵⁶⁾ nicht mehr eingesetzt werden können und zum anderen bei kurzfristigen Programmentscheidungen nur mehr der Zeitaspekt betrachtet wird.

Die Minimierung der Leerzeiten von Potentialfaktoren strebt eine möglichst hohe Ausschöpfung des nutzbaren Potentials einer Periode an. Bei einem gegebenen Produktionsprogramm einer Periode sind jedoch die Bearbeitungszeiten und somit auch die Leerzeiten innerhalb dieser Periode konstant. Unter Zugrundelegung künftiger Programmanpassungsentscheidungen besteht daher die Zielsetzung in einer Minimierung der Vor- und Zwischenleerzeiten, so daß die Potentialfaktoren möglichst bald für die Bearbeitung zukünftiger Aufträge zur

56) Vgl. hierzu Abbildung 2.2.auf S. 85 dieser Arbeit.

Verfügung stehen.⁵⁷⁾ Hieraus wird ersichtlich, daß bei zu erwartendem Auftragsmangel oder fehlenden Absatzmöglichkeiten diese Zielsetzung nicht zu einer Verbesserung der übergeordneten Zielerreichung führt. Vielmehr würde eine Abstimmung der Kapazitätsauslastung (Leerzeitverteilung) mit den Möglichkeiten der kurzfristigen Kapazitätsanpassung wohl eine größere Kostensenkung bewirken.

Bestehen hingegen günstige Absatzprognosen, so kann die Minimierung der Leerzeiten durchaus als ein probates Mittel den Erreichungsgrad des Oberzieles erhöhen. Es setzt jedoch voraus, daß es durch die Anwendung dieses Unterzieles gelingt, neue faktorbezogene Nutzungsmöglichkeiten zu erschließen. Die Reihenfolgebestimmung darf daher nicht so ausgerichtet sein, daß die durchschnittliche Leerzeit aller Produktionsfaktoren minimiert wird. Vielmehr dient als Gewichtsmaßstab für die einzelnen Potentialfaktoren die Knappheit ihrer Nutzzeit. Diese Knappheit wird durch das Verhältnis von nutzbarer Leerzeit und zusätzlich benötigter Nutzzeit bestimmt, wobei die Intensität des Nutzzeitbedarfs von dem erzielbaren Deckungsbeitrag beeinflusst wird.⁵⁸⁾ Nur wenn bei allen erforderlichen Potentialfaktoren die benötigte Nutzzeit in der richtigen technologischen Reihenfolge verfügbar ist, kann dies zur Mehrproduktion eines Erzeugnisses genutzt werden.

Für eine simultane Lösung dieses Problems bei mehreren Potentialfaktoren ist noch kein Algorithmus bekannt, so daß nur ein sukzessiver Problemlösungsprozeß anwendbar ist.

57) Vgl. hierzu Günther, H., Das Dilemma, a.a.O., S.93 ff. Diese Formulierung gilt jedoch nur für eine auftragsorientierte Fertigung. Bei marktorientierten Unternehmen wird dann das Fertigungsprogramm entweder erhöht oder zeitlich vorgezogen.

58) Die Ermittlung der Knappheit ist selbst problematisch. Näherungsweise wird daher die Leerzeit bei den vermeindlichen Engpaßfaktoren in der Reihenfolge ihrer unterstellten Knappheit minimiert.

Hierbei ist die Reihenfolge, in der die Leerzeiten bei den einzelnen Potentialfaktoren minimiert werden sollen, von großer Bedeutung für das Ergebnis, da vorgelagerte Entscheidungen Daten für nachgeordnete Entscheidungen setzen. Nur bei einer festen Vorgabe dieser Reihenfolge ist der entscheidungslogische Aspekt der Operationalität dieser Zielsetzung gewährleistet, da sonst eine eindeutige Aussage wegen der unbekannten Gewichtung der Leerzeiten verschiedener Potentialfaktoren nicht gemacht werden kann.⁵⁹⁾

Das Ziel der Minimierung der Durchlaufzeiten bezweckt eine Verminderung der Lager- und Kapitalbindungskosten. Da ein Teil der Lagerkosten durch mittelfristige Entscheidungen⁶⁰⁾ festgelegt und somit kurzfristig nicht beeinflussbar ist, können nur die auftragsbezogenen Lagerkosten (z.B. Schwund, Wartung, Alterung) als durchlaufzeitabhängig angesehen werden. Diese sind bei den einzelnen Erzeugnisarten meist so unterschiedlich, daß sie eine Gewichtung der Aufträge erforderlich machen.

Die Kosten der Kapitalbindung sind nur insofern an die Durchlaufzeit gekoppelt, als diese den zeitlichen Anfall der Zahlungen bestimmt. So kann eine Terminierung der Aufträge zu den jeweils spätest zulässigen Zeiten eine Verschiebung einzelner Ausgaben in die Zukunft und damit eine Verringerung der Kapitalbindung zur Folge haben.⁶¹⁾ Eine

59) Die Reihenfolge kann z.B. auch so bestimmt werden, daß zuerst die Leerzeit des Potentialfaktors minimiert wird, der durch das Fertigungsprogramm am längsten belegt wird, dies ist gleichbedeutend mit der Minimierung der Prozeßzeit, welche jedoch nur bei sehr speziellen Bedingungen ökonomisch sinnvoll ist. Vgl. Günther, H., Das Dilemma, a.a.O., S. 86 ff.; Mensch, G., Ablaufplanung, Köln und Opladen 1968, S. 46.

60) Hierunter fallen z.B. Entscheidungen über Lagerräume, -ausstattung und Lagerpersonal.

61) Ein derartiger Zusammenhang besteht bei Einzeldisposition der direkt zurechenbaren Kostenarten (z.B. Material). Erfolgt jedoch die Bestellung in Losgrößen, so wird nur dann eine Verringerung der Kapitalbindung erreicht, wenn die Bestellung des Loses verzögert wird.

größere Kostenwirkung läßt sich erzielen, wenn es gelingt, die wertmäßig höheren Einnahmen in Richtung Gegenwart zu verlagern. Die produktionstechnisch notwendige Voraussetzung hierzu ist, daß die Aktivitäten auf dem kritischen Weg beschleunigt werden können. Wirksam wird dieses Vorgehen jedoch erst, wenn sich die Einnahmen auch marktseitig früher realisieren lassen. Diese Möglichkeit besteht bei einer auftragsorientierten Fertigung nur, wenn die Zahlung mit dem Liefertermin gekoppelt ist. Ist hingegen der Zahlungstermin fixiert, so hat eine beschleunigte Fertigung keinen Einfluß auf den Einnahmetermin. Bei einem marktorientierten Unternehmen führt ein Vorziehen des Fertigstellungs-termines durch Verkürzen der Durchlaufzeit nur dann zu einer Verringerung der Kapitalbindung, wenn die Lieferbereitschaft bei diesem Erzeugnis nicht mehr gegeben war.

Diesen Kostenwirkungen der Kapitalbildung kann eine globale Minimierung der durchschnittlichen Durchlaufzeit nicht gerecht werden. Vielmehr sind die Aufträge mit den Werten ihrer verschiebbaren Zahlungen zu gewichten, wobei wiederum die Verschiebungsrichtung von Bedeutung ist.

Vielfach wird die Erhaltung der Lieferbereitschaft als eigenständiges Ziel aufgefaßt. Abgesehen davon, daß dieses Ziel nur dann relevant ist, wenn die Aufrechterhaltung der Lieferbereitschaft nicht ohne weiteres gewährleistet werden kann⁶²⁾, gibt dieser Tatbestand nur eine zusätzliche - nämlich marktinduzierte - Kostenkomponente der Durchlaufzeit wieder.⁶³⁾ Überschreitet die Durchlaufzeit einen kritischen Wert, so kann das Lager die Nachfrage nicht mehr befriedigen. Da dies häufig einen effektiven Verlust von Absatzmöglichkeiten bewirkt, verursacht die Durchlaufzeit unter der

62) Vgl. Günther, H., Das Dilemma, a.a.O., S. 43.

63) Vgl. Günther, H., Trilemma oder Dilemma der Ablaufplanung, ZfB 1972 (42), S. 297-300.

Voraussetzung einer möglichen Mehrproduktion einen potentialfaktorbezogenen Verzehr von Nutzungsmöglichkeiten.⁶⁴⁾ Sinkt aufgrund der Lieferzeiten der erzielbare Erlös, so mindert dies einerseits die Wertkomponente der faktorbezogenen Leerzeiten und bewirkt andererseits einen Verzehr des Nominalgutes Geld. Analog zur Lieferbereitschaft der marktorientierten Unternehmung lassen sich die Kostenwirkungen bei der Überschreitung von Lieferterminen und der Abgabe von Angebotsterminen in der auftragsorientierten Fertigung ableiten.

Bereitet schon die auftragsbezogene Erfassung der durchlaufzeitabhängigen Kosten innerhalb einer Kostenart Schwierigkeiten, so muß das Problem einer exakten Berücksichtigung aller Kostenarten bei der Gewichtung der Durchlaufzeitänderung der einzelnen Aufträge fast als unlösbar erscheinen. Vielfach wird daher versucht, die Operationalität dieses Zieles durch eine weniger differenzierte Gewichtung der Aufträge⁶⁵⁾ zu erreichen. Es darf jedoch nicht verkannt werden, daß eine derartige Operationalität nur auf Kosten der Komplementarität der Zielhierarchie erzeugt werden kann.

Die Ablösung des Kostenzieles durch die Verfolgung zweier zeitlicher Zielsetzungen macht es erforderlich, die gegenseitigen Beziehungen dieser Ziele kurz zu analysieren. So

64) Ebenso läßt sich ein Verlust an Good-will als Einbuße zukünftiger Absatzmöglichkeiten interpretieren und somit als Verzehr von Nutzungsmöglichkeiten erfassen. Allerdings kann der Zusammenhang zwischen Durchlaufzeit und Good-will einerseits und Good-will und Absatzmöglichkeiten andererseits nur sehr schwer erfaßt werden, da die marktliche und politische Umwelt dauernden Änderungen ausgesetzt ist.

65) So werden häufig die Kosten der Lagerhaltung und Kapitalbindung auf den mittleren Produktwert oder den mittleren Materialeinsatz bezogen. Die Kosten mangelnder Lieferbereitschaft werden, soweit man sie nicht überhaupt vernachlässigt, ebenfalls dieser Bezugsgröße zugerechnet.

wird in der Literatur vielfach unter der Bezeichnung "Dilemma der Arbeitsablaufplanung" eine Konkurrenz dieser Ziele unterstellt.⁶⁶⁾ Sie wird damit begründet, daß mit zunehmender Auftragsdichte die Leerzeiten vermindert und die Durchlaufzeiten erhöht werden. Da jedoch bei der Reihenfolgeplanung das Fertigungsprogramm gegeben ist, tritt ein derartiger Bestandseffekt⁶⁷⁾ nicht auf. Vielmehr ist bei konstantem Produktionsprogramm durch Reihenfolgevariationen ein möglichst kostengünstiger Produktionsablauf anzustreben. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß nicht in allen Situationen eine Verfolgung beider Ziele für die Erreichung des Oberzieles relevant ist.⁶⁸⁾ Sind jedoch beide Ziele ökonomisch sinnvoll, so ist ein Konflikt dieser Ziele zwar möglich, aber nicht zwingend.⁶⁹⁾ Da jede Problemlösung bei konkurrierender Zielsetzung eine Gewichtung der Ziele erfordert, sind in diesen Fällen auch hier Kostenüberlegungen anzustellen.

Bei einer dezentralen Organisation des kurzfristigen Entscheidungsbereiches stellen die auftrags- und faktorbezogenen Zeitziele für die einzelnen Entscheidungsträger insofern keine operationalen Handlungsimperative dar, als diese Kriterien die Beurteilung des gesamten Produktionsvollzuges erfordern. Der Disponent kann jedoch bei dieser Fertigungsorganisation die Konsequenzen von Reihenfolgevariationen nur an den ihm zugeordneten Potentialfaktoren ermitteln. Daher werden ihm als Entscheidungskriterien für

66) Vgl. Gutenberg, E., Produktion, a.a.O., S. 215 ff.; Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S.19 ff. u.a.

67) Vgl. hierzu Dickhut, E.O., Zur Problematik der optimalen Fertigungsablaufplanung in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Diss. TH Aachen 1966, S. 72.

68) Z.B. ist eine Leerzeitminimierung bei Unterbeschäftigung ohne Kapazitätsanpassung nicht kostenrelevant. Vgl. S. 92 dieser Arbeit.

69) Vgl. Günther, H., Das Dilemma, a.a.O., S. 45 ff. und S. 86 ff.; Miller-Merbach, H., Optimale Reihenfolgen, a.a.O., S. 177.

die Reihenfolgebestimmung häufig Prioritätsregeln vorgegeben, mittels derer die übergeordneten zeitlichen Ziele angesteuert werden sollen. Das Verhältnis der auf die einzelnen Entscheidungsträger bezogenen Prioritätsregeln zu den gesamtbetrieblichen orientierten Zeitzielen kann wegen der zahlreichen Interdependenzen nicht mehr aufgrund entscheidungslogischer Überlegungen abgeleitet werden. Vielmehr läßt sich nur mittels zahlreicher Simulationen auf induktivem Wege eine tendenzielle Komplementarität zwischen Prioritätsregeln und Zeitzielen nachweisen.⁷⁰⁾

2.3. Wert- und mengenmäßige Definition der Kostenelemente

Die Ablösung des Kostenzieles durch zeitliche Zielsetzungen ist bei einer zentralen Regelung des Produktionsprozesses äußerst problematisch. Die den Zeitzielen zugrunde liegenden pauschalen Kostenüberlegungen lassen nur in speziellen Situationen eine Mittel-Zweck-Beziehung zum Oberziel entstehen. Zudem machen die Aggregation heterogener Größen innerhalb eines derartigen Zielkriteriums und die in bestimmten Situationen mögliche Zielkonkurrenz eine Gewichtung auf der Basis von Kostenüberlegungen erforderlich. Gelingt es daher, die Kostenwirkungen alternativer Entscheidungen direkt zu quantifizieren, so erscheint eine Verwendung der zeitlichen Ziele nicht gerechtfertigt. Diese Forderung setzt jedoch nicht in jedem Falle eine exakte Erfassung der Kosten voraus. Vielmehr kann bereits eine über die pauschalen Vorstellungen von den "Zeitkosten" hinausgehende Genauigkeit eine wesentliche Verbesserung der Entscheidungs-

70) Vgl. hierzu u.a.: Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 157 ff.; v.Falkenhausen, H./Keck, H., Prioritätsregel bei der Ablaufplanung, in: Bussmann, K.F./Mertens, P. (Hrsg.), Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung, Stuttgart 1968, S. 228-256.

findung bewirken. Die Anwendung des Identitätsprinzips⁷¹⁾ zur Zurechnung des Faktorverzehr und die Ableitung befriedigender Kostenwerte⁷²⁾ bilden die Bausteine einer derartigen Vorgehensweise.

Diese Überlegungen sind auch für eine dezentrale Produktionssteuerung bedeutsam. Zwar bilden hier nur Prioritätsregeln operationale Handlungsimperative, doch sind diese dann statt an Zeitzielen direkt am Kostenziel zu orientieren und in ihrer Effizienz zu signifizieren.

Die folgende Untersuchung dient daher der quantitativen Bestimmung der Kostenelemente. Da der Verzehr von Repetierfaktoren durch die technischen Verbrauchsfunktionen erfaßt wird und somit keine neuen Probleme aufwirft, beschränkt sich die Ableitung auf die Potentialfaktorkosten und die zeitabhängigen Kosten.

2.3.1. Die Potentialfaktorkosten

Die Potentialfaktoren als Inhaber längerfristiger Nutzungspotentiale umfassen sowohl Teile der sachlichen Betriebsmittel als auch die menschliche Arbeitskraft. Im Rahmen der technisch-mechanistischen Betrachtungsweise muß die Produktionstheorie weitgehend vom Menschen als Träger der Arbeitskraft abstrahieren, da sich intra- und interpersonelle Probleme kaum formalisieren lassen. Dies hat zur Folge, daß die individuellen Einflüsse auf Leistungsfähigkeit und Lei-

71) Vgl. Riebel, P., Die Fragwürdigkeit des Verursachungsprinzips im Rechnungswesen, in: Layer, M./Strebel, H. (Hrsg.), Rechnungswesen und Betriebswirtschaftspolitik, Festschrift für Gerhard Krüger, Berlin 1969, S. 49-64.

72) Vgl. hierzu: Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 359; Adam, D., Entscheidungsorientierte Kostenbewertung, Wiesbaden 1970, S. 179 ff. (Zitierweise: Kostenbewertung).

stungswillen vernachlässigt werden. Arbeitsrechtliche und vertragliche Vereinbarungen bilden vielmehr die alleinige Grundlage für die Kostenentstehung beim Faktor Arbeit. Da hierbei der Faktorverzehr im wesentlichen durch die Form der Arbeitsentgeltbemessung determiniert wird, wirft eine derartige Verbrauchsmessung keine bedeutenden Probleme auf.⁷³⁾ Die Beschränkung auf die Verbrauchsbestimmung bei sachlichen Potentialfaktoren sei somit gerechtfertigt.

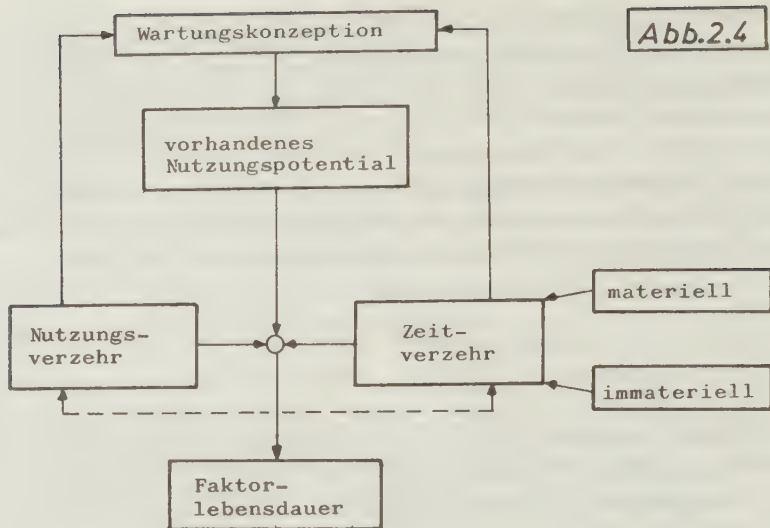
2.3.1.1. Die Mengenkompente sachlicher Potentialfaktorkosten

Die Schwierigkeiten bei der Ableitung der Kosten längerfristiger Betriebsmittel entstehen zum Teil bereits bei der Bestimmung der Mengenkompente. Da die Potentialfaktoren ex definitione ein länger wirkendes Nutzungspotential verkörpern, nehmen sie während ihrer Lebensdauer an einer größeren Anzahl von Elementarkombinationen teil. Diese mangelnde Teilbarkeit bewirkt, daß sich der Verzehr nicht mehr in Faktoreinheiten bestimmen läßt.⁷⁴⁾ Hinzu kommt, daß durch die längerfristige Bindung an den Betrieb die zeitabhängigen Verzehrursachen an Bedeutung gewinnen können. Bei einer gegebenen Wartungskonzeption bestimmen jedoch beide Verzehrarten den Zeitraum bis zur Erschöpfung des Nutzungspotentials und stellen somit Parameter der Entscheidungsbereiche dar (vgl. Abbildung 2.4.).

Die Schwierigkeit besteht im Auffinden einer Maßgröße, in welcher der durch beide Verbrauchsarten bewirkte Verzehr des Nutzungspotentials hinreichend genau ausgedrückt werden kann. Da der Zeitverzehr meist als proportional unterstellt

73) Vgl. hierzu: Kilger, W., Die optimale Planung Kapazitätserhöhender Mehrarbeitszeiten und Zusatzschichten im Industriebetrieb, ZfbF 1971 (23), S. 776; Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 255 ff.

74) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 252.



wird, konzentriert sich das Interesse auf die Verbrauchsbestimmung bei den heterogenen Nutzungsmöglichkeiten.

Lintzhöft⁷⁵⁾ schlägt eine so weitgehende Zerlegung der Potentialfaktoren in ihre Komponenten vor, daß jede dieser Baugruppen nur eine Arbeitsgangart ausführen kann. Hält man alle anderen Einflußfaktoren konstant (z.B. Temperatur, Durchführungszeit, Outputniveau), so läßt sich das Nutzungspotential eines derart abgegrenzten Bauelementes durch die Anzahl der möglichen Wiederholungen dieses Normarbeitsganges beschreiben. Weichen bei der realen Durchführung des Grundarbeitsganges die Ausprägungen der übrigen Einflußfaktoren von den Normbedingungen ab, so können deren Verbrauchswirkungen durch vorher ermittelte Koeffizienten berücksichtigt werden. Jeder reale Arbeitsprozeß setzt sich nun aus

75) Lintzhöft, H., Die Kosten für den Einsatz sachlicher Potentialfaktoren, Diss. Hamburg 1968, S. 51 ff.

einer bestimmten Menge gleicher und/oder verschiedener Grundarbeitsgänge zusammen. Über die Wiederholungszahl dieser Normarbeitsgänge werden dann die jeweiligen Bauelemente in Anspruch genommen. Diese Methode bietet zwar den Vorteil, daß sich der Verzehr direkt pro Leistungseinheit erfassen läßt, sie vernachlässigt jedoch die Leistungsverbundenheit der Baugruppen innerhalb eines Potentialfaktors.

Eine Voraussetzung dieses Verfahrens ist die wechselseitige Unabhängigkeit der einzelnen Bauelemente.⁷⁶⁾ Sie ist jedoch durch die funktionsbedingte Wärme- und Kraftübertragung zwischen den Baugruppen häufig nicht erfüllt. So können z.B. durch Lagerabnutzung entstehende Schwingungen über Kupplungen auf andere Einheiten übertragen werden und dort einen erhöhten Verzehr hervorrufen. Ebenso beruht das Zusammenwirken verschiedener Teile häufig auf der Einhaltung genau bestimmter Toleranzen. Verändert sich jedoch der Zustand einer Baugruppe, so kann durch die Überschreitung dieser Toleranzen ein erhöhter Verschleiß auch bei der anderen Baugruppe verursacht werden.⁷⁷⁾ Im Extremfall kann die Abnutzung eines Teiles die Vernichtung aller hintereinandergeschalteten Baugruppen zur Folge haben.

Die Abnutzung einer Baugruppe wird in der Regel den gesamten Potentialfaktor für eine bestimmte Zeitspanne unbenutzbar machen. Ein Teil dieser Baugruppen kann jedoch durch Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen erneuert werden, während für andere Gruppen eine Erneuerung nicht möglich oder ökonomisch nicht sinnvoll ist. In diesem zweiten Fall ist zu beachten, daß die Vorteilhaftigkeit der Erneuerung von Teilen auch vom Zustand der restlichen Elemente abhängig ist. Bestimmt man a priori die Teile, welche bei einer

76) Vgl. Lintzhöft, H., a.a.O., S. 56.

77) Diese Wirkung läßt sich z.B. bei schadhafte Kupplungen beobachten. Hier auftretende Störungen übertragen sich sowohl auf den Motor als auch auf das Getriebe.

Abnutzung ausgetauscht werden, so begrenzen nur die restlichen Elemente die Lebensdauer des Faktors. Das Teil aus dieser Restmenge, welches das Ende der Lebensdauer bewirkt, kann jedoch nur dann bestimmt werden, wenn die Wiederholungsstruktur der Arbeitgangtypen im voraus bekannt ist.

Ein weiteres Problem kommt in der Ermittlung des ursprünglichen Nutzungspotentials einer Baugruppe zum Ausdruck. Die Arbeitsabgabe der Baugruppe beruht auf dem Zusammenwirken vieler einzelner Elemente. Bereits geringe Qualitätsunterschiede im Material oder in der Verarbeitung können das Nutzungspotential stark beeinträchtigen. Dieser heterogene Charakter von Potentialfaktoren ist die Ursache, weswegen sich das tatsächliche Nutzungspotential erst am Ende der Lebensdauer feststellen läßt.

Die Unsicherheiten bei der ex ante Bestimmung des Nutzungsverzehrs lassen eine detaillierte und weit aufgegliederte Verbrauchsableitung wenig praktikabel erscheinen, zumal einerseits die Interdependenzen nicht erfaßt werden und andererseits nur die Verzehrswirkungen bei dem zuerst abgenutzten nichtaustauschbaren Element relevant⁷⁸⁾ sind. Es hängt von den speziellen Gegebenheiten des Potentialfaktors ab, welche Meßverfahren für die Verzehrbestimmung vorteilhaft sind. Während bei Potentialfaktoren, welche nach dem Baukastenprinzip entwickelt sind, der Weg von Lintzhöft gangbar sein mag, stellt er bei starr verbundenen Elementen meist keine akzeptable Lösung dar. Vielmehr ist es hier oft hinreichend genau, a priori das nichtaustauschbare "Engpaëlement" auszuwählen⁷⁹⁾ und nur dessen Abnutzung zu betrachten. Auf dieser Basis arbeiten die Verfahren, welche

78) Dies wird auch bei der Bewertung des Verzehrs ersichtlich. Vgl. S. 112 f. dieser Arbeit.

79) Dem liegen dann Annahmen über die Wiederholungsstruktur der Arbeitgangtypen und über die Instandhaltung aller Teile zugrunde.

dem gesamten Potentialfaktor von vornherein eine bestimmte Totalkapazität zuordnen. Sie wird durch einen normierten Maßstab ausgedrückt, welcher den Verzehr verschiedener Arbeitsgänge möglichst proportional wiedergeben soll (z.B. Laufstunden, Umdrehungen, Kilometerleistung usw.). Bei den meisten Potentialfaktoren wird zusätzlich ein materieller nutzungsunabhängiger Verzehr wirksam. Unterstellt man, daß dieser Verzehr bei Stillstand und bei Betrieb des Faktors in gleicher Stärke auftritt, so kann der hieraus resultierende Verbrauch als zeitproportional angesehen werden. Eine isolierte Analyse der Baugruppen ist in diesem Falle zulässig. Allerdings muß vermerkt werden, daß zwischen diesem Zeitverzehr und dem Nutzungsverzehr Interdependenzen bestehen können. Einerseits kann nämlich der Zeitverzehr zu einem beschleunigten Nutzungsverzehr führen und andererseits bestimmt der Nutzungsverzehr die Höhe des gesamten Zeitverzehrs. Insofern ist zwar der Verzehr pro Zeiteinheit nutzungsunabhängig, nicht jedoch der gesamte Zeitverzehr.

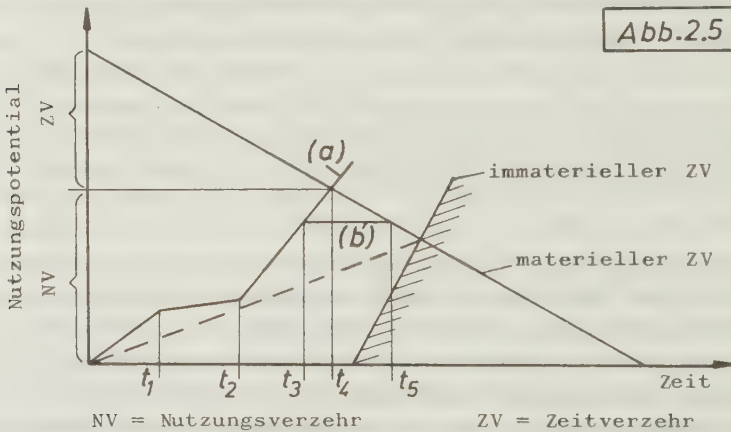
Innovationen auf dem Beschaffungsmarkt und Bedarfsverschiebungen auf dem Absatzmarkt lassen häufig die Ausschöpfung eines Faktor-Nutzungspotentials ökonomisch nicht mehr sinnvoll erscheinen. Da diese marktlichen Einflüsse auf die technische Leistungsfähigkeit keine Auswirkungen haben⁸⁰⁾, ist die Berücksichtigung dieses Phänomens in erster Linie eine Aufgabe der Kostenbewertung.⁸¹⁾ Dieser ökonomische Verzehr beschränkt jedoch zugleich auch die Nutzungsmöglichkeiten des technischen Leistungspotentials. Insoweit, als dieser immaterielle Verzehr auch bei maximaler Faktorauslastung eine Ausschöpfung des Potentials nicht mehr zu-

80) Eine Ausnahme ist dann vorstellbar, wenn Ersatz- oder Zubehörteile auf dem Markt nicht mehr bezogen werden können. Hierdurch wird die Wartungskonzeption und damit das Nutzungspotential zwangsläufig geändert.

81) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 254.

läßt, kann bereits ein "imaginärer" Verzehr des Nutzungspotentials unterstellt werden.⁸²⁾ Da dieser Verbrauch in der Regel den gesamten Potentialfaktor entwertet, wirkt er auf sämtliche Baugruppen in gleicher Weise ein. Die Problematik beim Einbezug dieser Verzehrskomponente liegt vor allem in der unvollkommenen Information über die zukünftige Entwicklung der marktlichen Umwelt. Die hiervon ausgehende Unsicherheit läßt auch den Informationswert einer exakten materiellen Verbrauchsanalyse fraglich erscheinen.

Das Zusammenwirken der dargestellten Verzehrskomponenten kann in einer Abbildung (2.5) verdeutlicht werden.⁸³⁾



Der zulässige Nutzungsbereich wird hierbei durch die Geraden der zeitlichen Verzehrarten beschränkt. Die Kurve (a) gibt den Nutzungsverzehr einer möglichen Auslastungsvariante wieder, bei der die Lebensdauer des Faktors im

82) Vgl. Lintzhöft, H., a.a.O., S. 119 ff.

83) Vgl. hierzu: Albach, H., Zur Verbindung von Produktions- und Investitionstheorie, a.a.O., S. 187; Lintzhöft, H., a.a.O., S. 128 ff.

Zeitpunkt t_4 beendet ist. Die verminderte Steigung im Intervall $[t_1, t_2]$ kann durch eine geringere Intensität oder durch einen erhöhten Zeitverzehr in der Stillstandsphase verursacht sein.⁸⁴⁾ Die Variante (b) symbolisiert den Fall, bei dem zwar der gesamte Potentialfaktor durch die Abnutzung eines nichtaustauschbaren Elementes zum Zeitpunkt t_3 unbrauchbar geworden ist, das in Abb 2.5 dargestellte nichtaustauschbare Teil aber zu diesem Zeitpunkt noch über ein Nutzungspotential verfügt. Da der Potentialfaktor aber nicht mehr einsatzfähig ist, wird das Nutzungspotential dieses Teiles durch den Zeitverzehr vernichtet (t_5). Für die Lebensdauerbestimmung ist demnach nur das Verzehr Bild der zuerst abgenutzten nichtaustauschbaren Einheit relevant.

Die gestrichelte Linie in Abb. 2.5 grenzt innerhalb des Nutzungsgebietes einen Gefahrenbereich ab. Tritt die Linie des Nutzungsverzehrs im Zeitablauf in den abgetrennten unteren Bereich ein, so ist die Ausschöpfung des Nutzungspotentials ohne eine absehbare zukünftige Erhöhung der Faktorauslastung gefährdet. Berührt die Nutzungsverbrauchslinie hingegen die Gerade des immateriellen Verzehrs, so ist selbst bei maximaler Auslastung eine Ausschöpfung des Leistungspotentials nicht mehr möglich. In diesem Falle ist der materielle Verschleiß für die Beendigung der Faktorlebensdauer nicht relevant.

2.3.1.2. Die Wertkomponente sachlicher Potentialfaktorkosten

Zur Vereinheitlichung der dimensionsverschiedenen Verbrauchsmengen und zur Ermittlung der jeweils günstigsten Fertigungsalternative bedarf der Faktorverzehr einer Bewertung. Die

84) Hierdurch kann die Annahme der Gleichheit des Zeitverzehrs bei Stillstand und Betrieb des Faktors aufgehoben werden.

zuletzt angesprochene Lenkungsfunktion dieser Wertkomponente besagt, daß bei einer gegebenen Zielsetzung und einer definierten Entscheidungssituation der Kostenwert die Auswahl der besten Alternative ermöglichen muß.⁸⁵⁾ Die hieraus ersichtliche Abhängigkeit des Kostenwertes von der Zielsetzung wird durch die Vorgabe des Gewinnmaximierungszieles⁸⁶⁾ von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Aufgabe der folgenden Untersuchung ist es, für einige typische Entscheidungssituationen die zugehörigen Kostenwerte sachlicher Potentialfaktoren abzuleiten. Die Beschreibung des Entscheidungsfeldes hat hierbei der jeweiligen Ermittlung der Kostenwerte vorauszugehen.

ENTSCHEIDUNGSFELD I:

Die zeitliche Ausdehnung des Entscheidungsfeldes ist kleiner als die Lebensdauer des Potentialfaktors. Diese für den kurzfristigen Entscheidungsbereich charakteristische Situation führt zu einer Durchtrennung der zeitlich vertikalen Interdependenzen. Da aber eine Vernachlässigung dieser Interdependenzen eine Minderung der übergeordneten Zielerreichung nach sich ziehen kann, ist ihre Berücksichtigung bei der Bewertung anzustreben.⁸⁷⁾

In sämtlichen Perioden der maximalen Faktorlebensdauer t_4 (Abb. 2.6) sind Alternativen vorhanden, welche den Einsatz des Faktors vorteilhaft erscheinen lassen. Eine Veräußerung

85) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 311;
Adam, D., Kostenbewertung, a.a.O., S. 15 ff.

86) Um bei der Bewertung im kurzfristigen Entscheidungsbereich zugleich die Folgen von Rückkopplungsentscheidungen miteinzubeziehen, muß das Gewinnziel gesetzt werden. Das Ziel der Kostenminimierung würde einen Einbezug von Grenzgewinnen nicht zulassen. Vgl. Adam, D., Kostenbewertung, a.a.O., S. 127 ff.

87) Adam, D., Kostenbewertung, a.a.O., S. 61.

des Faktors steht daher nicht zur Wahl. Vielmehr sei zu jedem Zeitpunkt seine ungehemmte Wiederbeschaffung möglich, wobei ein Gebrauchtwarenmarkt die Beschaffung beliebig kleiner Nutzungspotentiale zuläßt. Weiterhin sei angenommen, daß in jeder Periode das Nutzungspotential zur Verwirklichung der Alternativen ausreicht. Eine Knappheitssituation ist somit nicht gegeben.

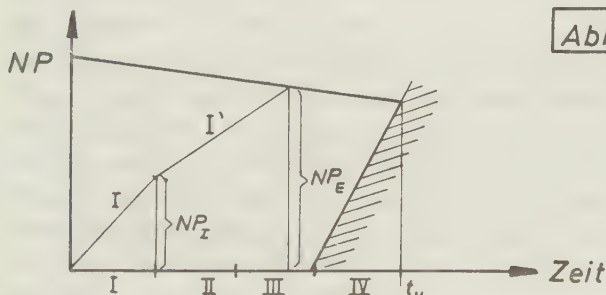


Abb. 2.6

Wird die Nutzungsalternative I verwirklicht, so verursacht sie einen Verzehr in Höhe von NP_I . Da dieses Potential für die Durchführung der zukünftigen Alternativen wiederzubeschaffen ist, entspricht diesem Verzehr eine Bewertung zu Wiederbeschaffungspreisen.⁸⁸⁾ Allerdings ist zu beachten, daß die Ersatzbeschaffung erst zu dem Zeitpunkt erfolgt, zu dem das gesamte Potential verbraucht ist. Die Berücksichtigung der zeitlichen Interdependenzen erfordert es also, über die Prognose künftiger Verwendungsmöglichkeiten (I') das Ende der Faktorlebensdauer zu bestimmen. Dieser Zeitpunkt (t_E) bildet dann die Basis für die Ermittlung des Wiederbeschaffungspreises des Potentials NP_E .⁸⁹⁾ Es darf hierbei nicht verkannt werden, daß die Ermittlung dieses Wiederbeschaffungswertes wegen der unvollständigen Information über Preisentwicklung und Faktorlebensdauer sehr pro-

88) In diesen Wiederbeschaffungswert sind eventuelle Auf- und Abbaukosten miteinzubeziehen.

89) Vgl. Lintzhöft, H., a.a.O., S. 152 ff.

blematisch ist, so daß man sich meist mit befriedigenden Werten bescheiden muß.

In diesem Entscheidungsfeld besteht bei einer vorhandenen Alternativenmenge keine Faktorknappheit. Da die gegebene Leerzeit somit weder die Kosten- noch die Leistungsseite beeinflussen kann, erhält sie den Wert "Null".

ENTSCHEIDUNGSFELD II:

In dieser Entscheidungssituation ist im Unterschied zu Feld I die Vorteilhaftigkeit der Nutzungsalternativen nicht mehr a priori gewährleistet. Die Alternative zur Inanspruchnahme des Nutzungspotentials bildet daher die Veräußerung des Faktors, die jedoch nur zulässig ist, wenn auf die Verwirklichung der noch vorhandenen Verwendungsmöglichkeiten verzichtet wird.

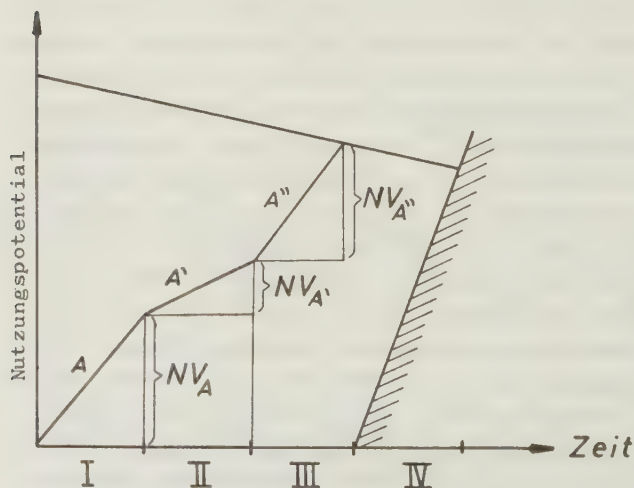


Abb.2.7

Wird in Periode I die Alternative A verwirklicht, so sinkt durch den Nutzungs- und Zeitverzehr der Veräußerungserlös des Potentialfaktors von seinem Wert zum Zeitpunkt $W(t_0)$ auf den Wert $W(t_I)$. Eine Bewertung des Nutzungsverzehrs NV_A mit dieser Erlösminderung⁹⁰⁾ ist jedoch nur zulässig, wenn in Zukunft keine Verwendungsmöglichkeit mehr ausgeführt wird. Soll hingegen noch die Alternative A' verwirklicht werden, so ist der gesamte Nutzungsverzehr $NV_A + NV_{A'}$ der gesamten Erlösminderung $W(t_0) - W(t_{II})$ gegenüberzustellen, da sie durch beide Alternativen verursacht worden ist.⁹¹⁾ Sinkt nämlich zu Beginn der Faktorlebensdauer der Verkaufserlös schneller als das Nutzungspotential, so würde bei einer Vernachlässigung der zeitlichen Interdependenzen der Nutzungsverzehr NV_A zugunsten des Verzehrs $NV_{A'}$ höher bewertet werden. Dies könnte jedoch zu nicht optimalen Entscheidungen führen. Für sämtliche Alternativenkombinationen (A; A+A'; A+A'+A''; A'+A''; A'') ergeben sich daher spezielle Wertansätze. Nur wenn sich die Verkaufserlöse proportional zum Nutzungspotential entwickeln, liefert eine zeitlich isolierte Kostenwertermittlung die gleichen Wertansätze.

Auch in diesem Entscheidungsfeld stellt die Erfassung der zeitlichen Interdependenzen so hohe Anforderung an den Informationsstand, daß man sich meist mit einer isolierten Bewertung auf der Basis einer längerfristigen Projektion zufrieden geben wird. Bezüglich der Bewertung ablaufbedingter Leerzeiten hat der Wertansatz des Feldes I Gültigkeit.

90) Hierbei sind eventuelle höhere Abbaukosten hinzuzufügen. Die Verringerung von Wartungskosten und die Verkürzung der Kapitalbindung vermindern jedoch die Bewertungsbasis.

91) Vgl. Riebel, P., Die Bereitschaftskosten in der entscheidungsorientierten Unternehmerrechnung, ZfbF 1970 (22), S. 372-386, insbes. S. 384.

ENTSCHEIDUNGSFELD III:

Das Entscheidungsfeld III unterscheidet sich von den beiden anderen Feldern insofern, als in einer Periode mehr Verwendungsmöglichkeiten bestehen als vom Faktor verwirklicht werden können. Diese Faktorknappheit kann durch die Beschaffungsmarktlage, durch Finanzierungsrestriktionen oder durch die mangelnde Teilbarkeit der Faktoren⁹²⁾ verursacht werden. Von entscheidender Bedeutung sind hierbei die Annahmen, die hinsichtlich der in einer Periode nicht mehr realisierten Verwendungsmöglichkeiten gemacht werden.

Besteht keine Möglichkeit, die nicht realisierten Alternativen in eine andere Periode zu verlagern (Variante A), so bewirkt die Durchführung der einen Alternativenmenge, daß der bei Durchführung der anderen Alternativenmenge entstehende Nutzen nicht realisiert werden kann. Neben den Grenzausgaben, welche auf der Basis des Feldes I und II ermittelt werden, ist den Faktoren bei der Bewertung des Nutzungsverzehrs daher zusätzlich der Grenzgewinn zuzurechnen. Er leitet sich aus der besten nicht mehr realisierten Alternative ab.

Die Zurechnung des Grenzgewinnes auf die einzelnen Faktoren ist jedoch nur in speziellen Entscheidungsfeldern möglich, nämlich wenn

- a) entweder nur einstufige Produktionsprozesse angewandt werden oder
- b) nur ein Fertigungsengpaß vorhanden ist⁹³⁾ oder
- c) die Zwischenprodukte sämtlicher Fertigungsstufen über einen Absatzmarkt verfügen.

92) Vgl. Adam, D., Kostenbewertung, a.a.O., S. 83.

93) Vgl. Adam, D., Das Interdependenzproblem in der Investitionsrechnung und die Möglichkeit einer Zurechnung von Erträgen auf einzelne Investitionsobjekte, DB 1966, S. 989 ff.

Ist hingegen der Fertigungsablauf mehrstufig gegliedert und bestehen mehrere Engpässe, so kann der Gewinn einer zusätzlichen Erzeugniseinheit nur mehr auf die Gesamtheit der beteiligten knappen Faktoren bezogen werden. Bei der Kapazitätsausnutzung kann infolgedessen nicht mehr die ablaufbedingte Leerzeit eines Faktors, sondern nur mehr die benötigte Leerzeitkombination verschiedener Faktoren bewertet werden. Eine Aufteilung des Gewinnes ist hier deshalb nicht zulässig, weil eine Mehrproduktion nur bei der erforderlichen Leerzeitkombination möglich ist.⁹⁴⁾

Häufig lassen sich die nicht realisierten Alternativen in eine andere Periode verlagern, ohne daß dies Preiskonsequenzen nach sich zieht. Wird eine derartige Verschiebung auf der Basis des Feldes I vorgenommen und entsteht hierdurch während der maximalen Faktorlebensdauer keine erneute Knappheit (Variante B), so hat dies lediglich eine Änderung der Wiederbeschaffungsfrequenz und der hierauf basierenden Kostenwerte zur Folge. Tritt jedoch eine Knappheitssituation auf (Variante B'), so werden jeweils die ungünstigsten Alternativen verschoben. Bei der Bewertung des Verzehrs einer Periode ist dann die Kenntnis der zukünftigen Grenzgewinne erforderlich.⁹⁵⁾

Die Konstellation der Variante B läßt sich auch auf der Grundlage des Feldes II nachweisen (Variante C). Löst die

94) Man wird jedoch häufig versuchen, auf der Basis einer befriedigenden Einzelbewertung eine derartige Leerzeitverteilung anzustreben. Eine Gewinnzurechnung entsprechend der Knappheit der Faktoren wäre ein möglicher Weg hierzu.

95) Vgl. Adam, D., Kostenbewertung, a.a.O., S. 61. Diese Informationsproblematik wird häufig durch einfache Annahmen umgangen. Werden z.B. die künftigen Alternativen als ebenso günstig unterstellt wie diejenigen der Verschiebepériode, so wird Variante B' auf die Variante A reduziert.

Alternativenverlagerung während der Faktorlebensdauer keine Knappheitssituation aus, so bewirkt sie lediglich eine Verschiebung der Verkaufszeitpunkte und der damit verbundenen Erlöse. Im Falle einer Knappheitssituation (Variante C') hingegen wird die insgesamt ungünstigste Alternativenmenge nicht mehr realisiert. Auch hier sind somit Informationen über die zukünftigen Opportunitätskosten einzuholen, wobei allerdings der Prognosezeitraum wegen der ausgeschlossenen Wiederbeschaffung kürzer ist. Gleichzeitig bleibt zu prüfen, ob nicht ein Übergang in das Feld I zweckmäßig ist.

Schließlich sei noch die Möglichkeit erwähnt, daß eine Verschiebung nicht realisierter Alternativen nur unter der Inkaufnahme von Preisabschlägen durchführbar ist (Variante D). Es entsteht demnach bereits durch die Verlagerung ein Gewinnentgang in Höhe des Preisabschlages. Da hier die absolute Vorteilhaftigkeit der Alternativen eine Funktion des Verlagerungszeitraumes ist, gelingt die Bestimmung der Opportunitätskosten nur mit Hilfe der dynamischen Programmierung.

Die im Zeitablauf sich vollziehende Änderung der Entscheidungsfelder läßt die Mannigfaltigkeit möglicher Entscheidungssituationen beträchtlich anwachsen. Da nur eine Kenntnis dieser Zeitentwicklung eine exakte Ableitung der Kostenwerte erlaubt, wird hierdurch die Bereitschaft zur Anwendung befriedigender Kostenwerte wesentlich gefördert. Die Gewinnerwartungen, die hinsichtlich einer geringfügigen Kapazitätserhöhung knapper Faktoren oder Faktorkombinationen bestehen, bilden oft eine brauchbare Grundlage für die Prognose von Opportunitätskosten. Sie stellen in diesem Fall die Basis für eine Bewertung der ablaufbedingten Leerzeiten dar.

Bei der Ableitung des Faktorverzehrs wurde der Versuch unternommen, den Potentialfaktor in Bestandteile zu dekompo-

nieren.⁹⁶⁾ Eine derartige Einzelbewertung von Baugruppen ist zu Wiederbeschaffungspreisen nur zulässig, wenn ein entsprechender Markt besteht. Bewertet man aber die austauschbaren Teile zu Ersatzteilpreisen, so verbleibt für die nicht-austauschbaren Teile kein marktlicher Wertansatz. Selbst wenn ein Potentialfaktor nur aus austauschbaren Baugruppen besteht, ist eine solche Bewertung problematisch, da die Einzelwerte fast nie mit dem Gesamtwert übereinstimmen und daher die Alternative einer Wiederbeschaffung des gesamten Faktors außer acht bleibt. Bei einer Bewertung zu Verkaufserlösen ist eine Einzelbewertung noch seltener anwendbar. Einerseits nämlich existiert meist nur für wenige Baugruppen ein Gebrauchtgütermarkt und andererseits bietet sich fast immer die Alternative einer Veräußerung des gesamten Potentialfaktors. Die Wertkomponente steht somit in den meisten Fällen einer Dekomposition des Potentialfaktors entgegen.

2.3.2. Die zeitabhängigen Kosten

Die bisherige Untersuchung befaßte sich mit der Ermittlung des bewerteten Nutzungsverzehrs bei Potentialfaktoren. Hierbei wurde verdeutlicht, daß die ablaufbedingten Leerzeiten nur bei Faktorknappheit einen von Null verschiedenen Wert erhalten.

Die terminierte Zuordnung von Bearbeitungsaufträgen und Potentialfaktoren beinhaltet jedoch insofern auch einen auftragsbezogenen Zeitaspekt, als hiervon die Durchlaufzeit der Erzeugnisse abhängig ist. Die Auswirkungen dieser Auftragsdurchlaufzeiten auf das Kostenniveau bilden den Gegenstand der folgenden Betrachtung.

96) Lintzhöft, H., a.a.O., S. 56.

2.3.2.1. Die Mengenkomponte der zeitabhängigen Kosten

Bei gegebenen Bearbeitungslosen und konstanten Prozeßparametern kann die Durchlaufzeit nur über die Wartezeitvariablen gesteuert werden. Die Festlegung dieser Variablen wird zugleich mit der Bestimmung der terminierten Bearbeitungsreihenfolge vollzogen.

Die Einplanung von Wartezeiten in die fertigungsbezogene Durchlaufzeit⁹⁷⁾ ist mit einem Lagervorgang gekoppelt, der zur Kostenentstehung beitragen kann. Ein Teil der Lagerentscheidungen wird jedoch innerhalb des lang- und mittelfristigen Entscheidungsbereiches getroffen und begrenzt dann als Nebenbedingungen den kurzfristigen Bereich. Die Kosten dieser Entscheidungen, die vor allem die räumlichen, sachlichen und personellen Determinanten der Lagerkapazität⁹⁸⁾ betreffen, können somit nicht den Wartezeiten zugeordnet werden. Kurzfristige Lagerkosten entstehen nur insoweit, als Wartezeitvariationen einen direkten Güterverzehr verursachen, wobei dieser Zusammenhang sowohl mengenmäßig als auch zeitlich begründet sein kann. Während bei mengenmäßiger Abhängigkeit die Existenz, nicht aber die Dauer der Wartezeit einen Gütsverzehr bewirkt, ist bei zeitlicher Abhängigkeit alleine die Dauer der Wartezeit für die Kostenentstehung maßgebend.⁹⁹⁾ Von entscheidender Bedeutung ist hierbei, daß der in den Lagerkosten enthaltene heterogene Güterverzehr zwar

97) In der Regel entstehen Lagerkosten nicht vor der Erstellung des frühesten Zwischenproduktes. Lediglich bei einer auftragsbezogenen Materialdisposition können bereits vor Beginn der Produktion wartezeitbedingte Lagerkosten anfallen.

98) Vgl. Selchert, F.W., Lagerkapazitäten und die Möglichkeit ihrer Messung, ZfbF 1970 (22), S. 681-693, insbes. S. 685 ff.

99) Pack, L., Optimale Bestellmenge und optimale Losgröße, ZfB 1963 (33), S. 465-492, 573-594, insbes. S. 475 ff.

ceteris paribus wartezeitabhängig, aber ansonsten im wesentlichen von auftragsspezifischen Größen (z.B. Material, Volumen, Gewicht) bestimmt ist. Der Faktorverzehr kann daher weder auf eine horizontal über den Aufträgen noch auf eine vertikal über den Fertigungsstufen aggregierte Wartezeit bezogen werden. Vielmehr ist eine Ableitung des Güterverbrauchs jeweils nur für eine genau bestimmte Wartezeitverteilung der jeweiligen Bearbeitungslose möglich.

Neben der Verursachung eines direkten Gutsverzehrs beeinflussen die Wartezeiten die Beginn- und Endzeitpunkte der einzelnen Bearbeitungsprozesse. Da diese Zeitpunkte größtenteils den Einsatz der Kostengüter steuern, bestimmen sie auch direkt oder indirekt die Termine der zugrundeliegenden Zahlungsströme und somit die Dauer der Kapitalbindung. Betrachtet man zunächst den Einzahlungstermin als "eingefroren", so verbleibt zur Einwirkung auf die "Kompensationsdauer"¹⁰⁰⁾ lediglich die zeitliche Variation der Auszahlungen. Ein adäquates Mittel zur Verringerung der Kompensationsdauer ist hierbei das Bestreben, die Bearbeitungsprozesse soweit in die Zukunft zu verlagern, daß ihr Beginn - vom Liefertermin aus gerechnet - zu den spätest zulässigen Terminen erfolgt. Eine derartige "Aktivverschiebung" vermag jedoch nur Zahlungen zu verlagern, welche durch direkt zurechenbare Kosten hervorgerufen werden. Kapitalbindungsrelevant ist der Zusammenhang aber erst, wenn diese variablen Kostenarten einzeln und in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Kostenentstehung disponiert werden. Bei einer Sammeldisposition hingegen wird die Kapitalbindung nur beeinträchtigt, wenn hierdurch die Bestellung des Loses verzögert wird, wobei sich jedoch die Wirkung wegen des höheren Zahlungsbetrages vervielfacht. Die Aktivverschiebung ermöglicht somit, insgesamt gesehen, lediglich eine sehr bedingte Steuerung der Kapitalbindung.

100) Heinen, E., Das Kapital in der betriebswirtschaftlichen Kostentheorie, Wiesbaden 1966, S.34 (Zitierweise: Das Kapital).

Ist der Zahlungstermin nicht absolut fixiert, sondern an einen variablen Liefertermin gekoppelt, so kann man durch eine vorzeitige Produktion die Einzahlung in Richtung Gegenwart verschieben. Dies gelingt durch eine Verringerung der Wartezeiten auf dem "kritischen Weg".¹⁰¹⁾ Der Effekt einer solchen "Passivverschiebung" ist ungleich größer als der einer Aktivverschiebung, da hier neben sämtlichen variablen Kosten des Fertigungserzeugnisses auch dessen Deckungsbeitrag früher realisiert wird. Ein derartiges Vorgehen ist allerdings - gemäß obiger Bedingung - meist nur bei einer auftragsorientierten Produktion möglich. Bei marktorientierten Unternehmen hingegen erscheint eine Passivverschiebung nur sinnvoll, wenn die Fertiglager die Nachfrage nicht mehr befriedigen können.

Da die auftragsspezifischen Auswirkungen von Aktiv- und Passivverschiebungen auf Durchlaufzeit¹⁰²⁾ und Zahlungsströme situationsbedingt sehr unterschiedlich sind, läßt sich allenfalls eine tendenzielle, jedoch keine funktionale Abhängigkeit zwischen Durchlaufzeit und Kapitalnutzungsverzehr nachweisen. Die einzelnen Verschiebewirkungen sind daher jeweils mit ihren Zeit-Zahlungsprodukten zu messen.

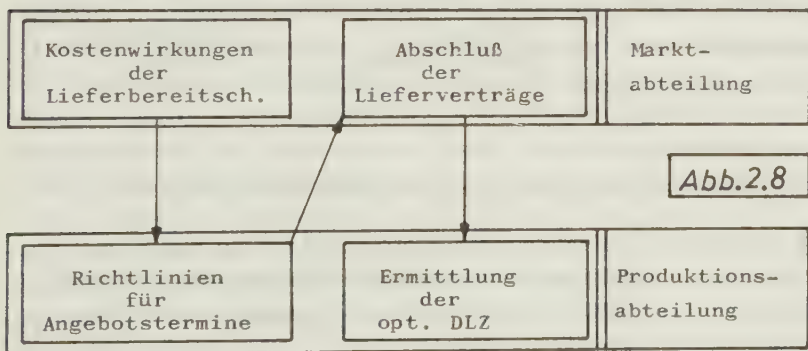
Neben diesen mehr betriebsinternen Wirkungen verfügt die zeitliche Ordnung des Produktionsprozesses insofern auch über einen marktlichen Aspekt, als die Kunden über bestimmte Lieferzeitvorstellungen verfügen.

In auftragsorientierten Unternehmen, bei denen die Liefertermine in der Regel vertraglich vereinbart werden, finden diese Vorstellungen in den Konventionalstrafen ihren Ausdruck. Überschreitet die Durchlaufzeit einen kritischen Wert,

101) Vgl. Heinen, E., Das Kapital, a.a.O., S. 42 ff., bes. S. 54 ff.

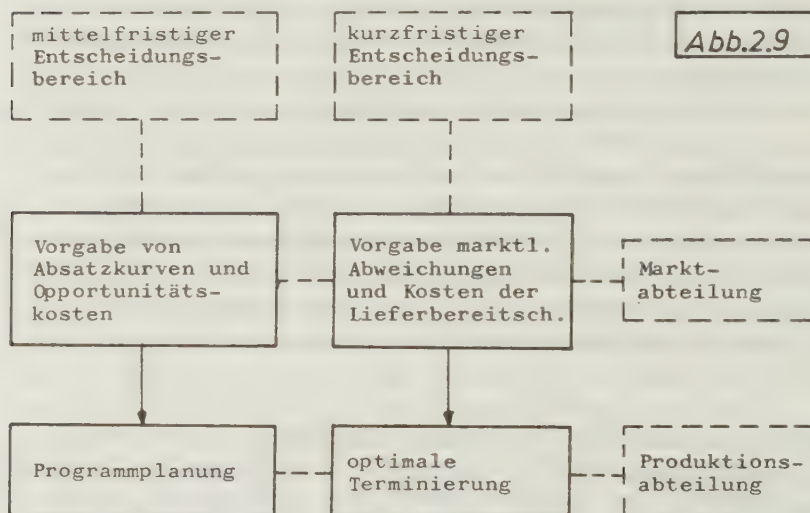
102) Auch bei konstanter Durchlaufzeit kann durch Verschiebungen auf den nicht kritischen Wegen die Kapitalbindung variiert werden.

so entstehen Kosten in Form dieser Zahlungsverpflichtungen, wobei diese wiederum konstant, zeitabhängig oder - wie bei Regreßforderungen - risikobehaftet sein können. Meist beeinflussen jedoch bereits die Angebotstermine die Vertragsverhandlungen, vor allem was die Abschlußmöglichkeiten, den erzielbaren Preis, sowie die Liefer- und Zahlungsbedingungen betrifft. In dem Maße, in dem der Grad der Lieferbereitschaft zusätzliche Kosten bei anderen absatzpolitischen Instrumenten¹⁰³⁾ verursacht oder gar zu einem vollkommenen Entgang von Deckungsbeiträgen führt, entstehen Opportunitätskosten. Da diese Kosten auf Markteinflüsse zurückzuführen sind, können derartige produktspezifische Funktionen nur von der Marktabteilung ermittelt werden. Hierbei sollten zwar auch langfristige Auftragsauswirkungen (z.B. Kundenabwanderung, Imageverlust) miteinbezogen werden, die unvollständige Information über gegenwärtige und zukünftige Markteinflüsse sowie die jeweilige Marktdynamik werden aber nur globale Kostenschätzungen zulassen. Trotzdem vermag ein derartiges Zusammenwirken von Markt- und Produktionsabteilung (Abb. 2.8) eine rationale Kostenbewertung herbeizuführen.



103) Vgl. Nieschlag/Dichtl/Hörschgen, Marketing, Berlin 1971, S. 120 ff.

Bei marktorientierten Unternehmen zeigt sich eine mangelnde Lieferbereitschaft an der frühzeitigen Erschöpfung der Fertiglager, was in gleicher Weise Kundenabwanderungen und somit Opportunitätskosten zur Folge haben kann. Allerdings liegt bei diesem Unternehmenstyp der Schwerpunkt der Lieferbereitschaftsbestimmung bei der mittelfristigen Programmplanung, während die kurzfristige Ablaufplanung durch Variationen der Durchlaufzeiten lediglich Korrekturen marktlicher Störungen vornehmen kann (Abb. 2.9).



2.3.2.2. Die Wertkomponente der zeitabhängigen Kosten

Die Ableitung des Wertansatzes der einzelnen Kostenarten wird auch hier durch das jeweilige Entscheidungsfeld determiniert und kann daher nur für einige typische Situationen exemplarisch aufgezeigt werden.

Die in den kurzfristigen Lagerkosten enthaltenen verzehrten Gütermengen (Pflege- und Konservierungsmittel u.dgl.) seien

als in beliebigen Mengen beschaffbar angesehen. In diesem offenen Entscheidungsfeld stellen dann die Anschaffungspreise die adäquaten Kostenwerte dar.¹⁰⁴⁾ Eine andere Situation ist bei Bestandsminderungen gegeben. Kann ein derartiger Verzehr durch künftige Beschaffungsaufträge wieder egalisiert werden, so ist das Entscheidungsfeld einseitig nach unten geschlossen. Die Bestandsminderung ist in diesem Falle mit den künftigen Wiederbeschaffungswerten zu veranschlagen. Ist hingegen eine Wiederbeschaffung nicht möglich, so sind in dem absolut geschlossenen Entscheidungsfeld die entgehenden Deckungsbeiträge als Wertansätze zu wählen. In ähnlicher Weise können zusätzliche Knappheitswerte entstehen, wenn das Lagerpotential einen Engpaß darstellt.

Der Verzehr von Kapitalnutzungsmöglichkeiten findet seinen Wertansatz in der Bemessung des Zinsfußes. Da Kapital knapp ist, kann die Bewertung nur zu Knappheitswerten erfolgen. Der entscheidungstheoretisch abgeleitete Wertansatz führt zur unternehmensbezogenen Grenzproduktivität des Kapitals. Da dieser Wert jedoch erst aus dem Ergebnis der Entscheidungen resultiert, stellt er für die Entscheidungsfindung selbst keine operationale Basis dar. Vielmehr versucht man auf der Grundlage von finanzwirtschaftlichen und/oder güterwirtschaftlichen Standardalternativen anspruchsniveaubedingte Ersatzgrößen abzuleiten. Aus dem finanzwirtschaftlichen Sektor bieten sich hierbei für den kurzfristigen Entscheidungsbereich die Alternativen einer fristenkongruenten Kredittilgung oder Kreditvergabe an, während die güterwirtschaftlichen Alternativen durch die kurzfristig erzielbare Rendite näherungsweise wiedergegeben werden. Die diesen Alternativen entsprechenden Zins- bzw. Renditesätze bilden sodann die Bewertungsbasis.

104) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 343 f.

Bei Konventionalstrafen, die meist in Geldeinheiten erhoben werden, entstehen - mit Ausnahme risikobehafteter Forderungen - keine Bewertungsprobleme.¹⁰⁵⁾ Liegen zuverlässige Informationen über Kundenabwanderungen vor, so bereitet auch eine befriedigende Bewertung der entgehenden Deckungsbeiträge auf der Grundlage standardisierter variabler Kosten keine unlösbaren Schwierigkeiten. Problematisch erscheint hingegen die Bewertung der Einflüsse mangelnder Lieferbereitschaft auf gegenwärtige und zukünftige Vertragsabschlüsse. Ein derartig differenzierter Gewinnentgang müßte durch eine eingehende Marktanalyse beurteilt, prognostiziert und projiziert werden.

2.3.3. Die Berücksichtigung von Risiken bei der Kostenermittlung

Bereits in den vorausgehenden Untersuchungen wurde des öfteren darauf hingewiesen, daß die Informationsversorgung des Entscheidungsträgers meist nur unvollkommen ist. Dies hat zur Folge, daß die entscheidungsfeldspezifischen Kenntnisse in Hinsicht auf Koeffizienten, Alternativen und Restriktionen sowie die Möglichkeiten der Ableitung von Konsequenzen meist begrenzt sind. Will man die hieraus resultierende Unsicherheit und Ungewißheit erfassen, so erfordert dies einen expliziten oder zumindest impliziten Einbezug der Wahrscheinlichkeiten.¹⁰⁶⁾

Nur wenn der Entscheidungsträger über objektive oder subjektive Wahrscheinlichkeiten verfügt, kann er sie durch die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung in Verbindung mit adäquaten Entscheidungsregeln direkt in die Entschei-

105) Es ist zu beachten, daß dies natürlich auch einen Verzehr von Kapitalnutzungsmöglichkeiten zur Folge hat.

106) Vgl. hierzu Heinen, E., Zielsystem, a.a.O., S. 159 ff.

dung miteinbeziehen. Fehlen jedoch derartige Wahrscheinlichkeiten, so lassen sich lediglich auf der Basis von Verhaltens- und Risikohypothesen fundierte Lösungen ableiten.

Kennzeichnend für die betriebliche Unsicherheitssituation ist es, daß innerhalb des Produktionsbereiches nicht nur bereichsinterne Risikofaktoren (z.B. Maschinenausfall, Ausschuß, Lernprozesse, Entscheidungs- und Arbeitsverhalten) wirksam sind, sondern die Produktionsentscheidungen auch in starkem Maße von außerbetrieblichen Risiken des Beschaffungs- und Absatzmarktes beeinflußt werden. So vermögen z.B. Innovationen, Faktorpreisänderungen und mengenmäßige Beschränkungen die Situation auf dem Beschaffungsmarkt derart zu verändern, daß Revisionsentscheidungen hinsichtlich der Faktorausstattung und des Produktionsprogrammes erforderlich werden.¹⁰⁷⁾ Zudem können von der Seite des Absatzmarktes Anpassungsentscheidungen durch eine Änderung der Konkurrenzsituation, des Nachfrageverhaltens und des Produktangebotes initiiert werden. Diese mehr ökonomischen Unsicherheitsfaktoren wiederum sind durch Risiken der politischen Umwelt induzierbar, indem nämlich z.B. von der Wirtschaftsordnungspolitik, der Konjunktursteuerung oder der Außenhandelspolitik Änderungsimpulse ausgehen.

107) Vgl. Abbildung 2.1 auf S. 78 dieser Arbeit.

EXKURS: OPERATIONSANALYTISCHE ENTSCHEIDUNGSMODELLE
ALS ELEMENTE DER ENTSCHEIDUNGSFINDUNG

Betriebswirtschaftliche Entscheidungsmodelle vermögen ihrer normativen Rollen innerhalb der Betriebswirtschaft nur gerecht zu werden, wenn sie durch die Eingliederung in konkrete Organisationen ihren Realitätsbezug erhalten. Die entscheidungsorientierte Betriebswirtschaftslehre weist auf der Basis deskriptiver organisationaler Grundmodelle¹⁾ den operationsanalytischen Verfahren die Aufgabe zu, "die intuitive Informationsverarbeitungskapazität und Problemlösungsfähigkeit eines Individuums (oder eines sozialen Systems, A.d.V.) zu erweitern"²⁾, und dergestalt den informationsverarbeitenden Prozeß der Entscheidungsfindung zu unterstützen. Diese Servicefunktion können jedoch die Methoden des Operations Research aufgrund ihrer begrenzten Möglichkeiten bei den einzelnen Problemstrukturen nur bedingt erfüllen.

Wohl strukturierte Probleme³⁾ - gekennzeichnet durch eine bekannte Alternativenmenge, hinreichend prognostizierbare Konsequenzen sowie klar definierte Ziele und Entscheidungsregeln - bieten für die Anwendung operationsanalytischer Methoden besonders günstige Bedingungen. Die stabile Ausgangslage findet meist in der Formulierung geschlossener

-
- 1) Vgl. Heinen, E., Der entscheidungsorientierte Ansatz der Betriebswirtschaftslehre, ZfB 1971 (41), S. 429-444, bes. S. 430 f.
 - 2) Kauffmann, A., Kosten- und Investitionstheorie als betriebswirtschaftliche Ansätze zur Lösung des Allokationsproblems, Diss. München 1970, S. 234.
 - 3) Vgl. Heinen, E., Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre, in: Heinen, E. (Hrsg.), Industriebetriebslehre, Wiesbaden 1972, S. 25-68, hier S. 55 ff.

Entscheidungsmodelle⁴⁾ ihren Ausdruck, in denen die Formalprobleme mit Hilfe von Algorithmen gelöst werden können. Derartige Problemtypen spiegeln jedoch meist nur einen kleinen Ausschnitt der betrieblichen Realität wieder. In vielen Situationen wird vielmehr mindestens ein Kriterium ihrer Definition nicht erfüllt sein. Das dann bestehende "schlecht strukturierte Problem" läßt sich nur durch die Formulierung eines offenen Entscheidungsmodells einer anspruchsniveaugerechten Lösung näher bringen. Diesen Modellen liegt meist eine heuristische Lösungsmethode zugrunde, die in Anlehnung an Klein⁵⁾ als ein systematisches Verfahren definiert sei, welches durch die Anwendung einer erfahrungsbegründeten Regel dazu beiträgt, im Durchschnitt den Zeitaufwand für eine befriedigende Problemlösung zu verringern.

Innerhalb dieser Problemstrukturen bieten nur solche Problemtypen die Möglichkeit zur Formulierung operationsanalytischer Entscheidungsmodelle, die sich über ein System von Kardinalskalen in ein Formalproblem transformieren lassen. Die Quantifizierbarkeit⁶⁾ und die Strukturierung des Realproblems entscheiden somit, inwieweit die vorhandenen Methoden des Operations Research überhaupt anwendbar sind. Die Effizienz ihres Einsatzes zur Unterstützung des Entscheidungsprozesses wird dann bestimmt

- a) durch die Entscheidungen bei der Konzeption des mathematischen Modells und
- b) durch die subjektive Bewertung im Stadium der Ergebnisanalyse.

4) Klein ordnet diesen Modellen die "vollständig formulierten Entscheidungsaufgaben" zu. Vgl. Klein, H.K., Heuristische Entscheidungsmodelle, Wiesbaden 1971, S. 32.

5) Klein, H., Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 35 u. 36.

6) Vgl. Heinen, E., Zielsystem, a.a.O., S. 113.

1. Entscheidungstatbestände bei der Konzeption des Entscheidungsmodelles

Die Konzeption von Entscheidungsmodellen zur Lösung betrieblicher Probleme ist selbst wiederum das Ergebnis mehrstufiger, komplexer Entscheidungsprozesse, die innerhalb einer gegebenen Organisation vollzogen werden.⁷⁾ Auf dieser vorgelagerten Stufe der Entscheidungsfindung beeinflussen daher Organisationsmitglieder durch ihre subjektiven Vorstellungen über die zugrundeliegenden Wertordnungen und Ursache-Wirkungszusammenhänge die Gestaltung des Formalproblems.

Ihren konkreten Ausdruck finden die Wertordnungen in der Formulierung der Ziele. Häufig sind zu Beginn eines Problemlösungsprozesses nur ungefähre Zielvorstellungen vorhanden, die erst im weiteren Verlaufe eine Präzisierung erfahren.⁸⁾ Von diesen Zielen kann in das mathematische Modell jedoch nur deren quantifizierbare Teilmenge aufgenommen werden, während die nicht-quantifizierbaren Ziele erst bei der Ergebnisanalyse berücksichtigt werden können. Die im Modell anwendbaren Entscheidungskriterien bedürfen noch einer exakten Definition ihrer inhaltlichen, anspruchsmäßigen und zeitlichen Dimension⁹⁾, damit sie als Zielfunktion eines mathematischen Modells einsatzfähig sind. Verbleiben mehrere konkurrierende Ziele, so können sie nur über einen Bewertungsprozeß zu einer eindimensionalen Zielfunktion zusammengefaßt werden.

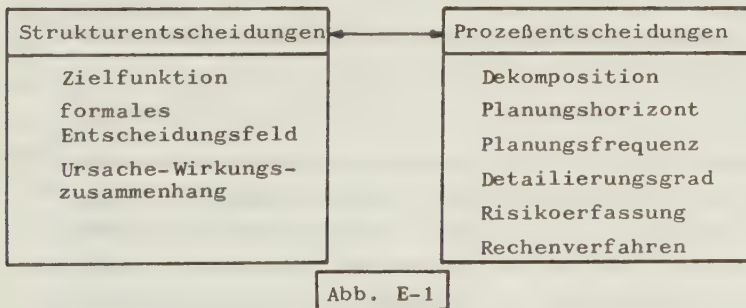
7) Vgl. Altrogge, G., Entscheidungsbäume und Modellrechnungen als Hilfen im Entscheidungsprozeß, WPg 1972 (25), S. 57-62, bes. S. 60 f.

8) Vgl. Witte, E., Mikroskopie einer unternehmerischen Entscheidung, IBM-Nachrichten, Februar 1969, Heft 193, S. 490-495.

9) Vgl. Heinen, E., Zielsystem, a.a.O., S. 59 ff.

Bei der Konzipierung des Formalproblems sollen alle "für das Problem relevanten Realtatbestände erfaßt und ... möglichst wenig wesentliche Beziehungen zu den benachbarten Realitätsbereichen durchschnitten werden"¹⁰⁾. Durch eine derartige Abgrenzung des imaginären quantifizierbaren Entscheidungsfeldes wird einerseits die Zahl der im Modell verfügbaren Alternativen und Umwelteinflüsse, andererseits aber auch der erforderliche Rechenaufwand bestimmt. Über Funktionen sind sodann die Zielwirkungen der jeweiligen Alternativen abzuleiten. Die hierbei unterstellten Ursache-Wirkungszusammenhänge sowie die angenommenen Koeffizientenwerte verkörpern ebenfalls modellimmanente Entscheidungstatbestände.¹¹⁾

Neben diesen Strukturentscheidungen sind bei der Konzeption des Lösungsverfahrens noch eine Menge prozessualer Freiheitsgrade festzulegen, von denen hier lediglich die wesentlichsten exemplarisch dargestellt werden (Abb. E-1). Zwischen Struktur- und Prozeßentscheidungen bestehen hierbei enge gegenseitige Beziehungen.



10) Müller-Merbach, H., Operations Research, a.a.O., S. 14.

11) Vgl. Heinen, E., Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre, a.a.O., S. 51.

Für umfangreiche und komplexe Entscheidungsfelder existieren häufig keine ökonomisch sinnvollen Lösungsmethoden, so daß das Entscheidungsfeld zweckmäßigerweise in einzelne Teilprobleme zu dekomponieren ist. Die hierdurch bedingte Durchtrennung von Interdependenzen führt zu einer Vernachlässigung ihrer Zielwirkungen. Über das Einfügen von "Rückkoppelungskanälen" ist jedoch auch eine Erfassung dieser Zusammenhänge möglich. Eine derartige Dekomposition von Entscheidungsfeldern kann unter zahlreichen Aspekten vollzogen werden, wobei ein häufig angewandtes Abgrenzungskriterium die zeitliche Reichweite der einzelnen Teilprobleme bildet, welche im relevanten Planungshorizont zum Ausdruck kommt. Die Entscheidungen über den jeweiligen Planungshorizont bewirken, daß die Zielwirkungen sämtlicher nachfolgenden Alternativen außer acht bleiben.

Infolge des Auftretens von Störgrößen werden im Zeitablauf die geplanten Daten meist nicht realisiert. Da sich einerseits Störungen im weiteren Tätigkeitsablauf fortpflanzen und sich andererseits projizierte Entwicklungen mit zunehmender Annäherung schärfer abzeichnen, wird der Planungsprozeß innerhalb des Planungshorizontes in bestimmten Abständen wiederholt. Die Fixierung einer derartigen Planungsfrequenz stellt einen eigenen Entscheidungstatbestand dar.

Die zeitliche Unsicherheit der Eingangsinformationen sowie die begrenzte Leistungsfähigkeit der Rechenmethoden lassen zudem den Informationswert eines detaillierten Lösungsverfahrens häufig fraglich erscheinen. Mit zunehmender zeitlicher und organisatorischer Reichweite der formalen Entscheidungsfelder nimmt daher der Detaillierungsgrad der Lösungsverfahren meist rasch ab. Den lang-, mittel- und kurzfristigen Modellkategorien werden deshalb oft die Genauigkeitsstufen grob, mittel und fein zugeordnet.¹²⁾

12) Vgl. Brankamp, K., Ein Terminplanungssystem für Unternehmen der Einzel- und Serienfertigung, Würzburg-Wien 1968, S. 14 (Zitierweise: Terminplanungssystem).

Bestehen über das Eintreffen von Ereignissen oder über das Verhalten von sozialen Systemen objektive oder subjektive Wahrscheinlichkeiten, zumindest aber Hypothesen, so kann eine derartige Ungewißheitssituation explizit im Lösungsansatz berücksichtigt werden. Die Art und Weise, in der diese Ungewißheit bei der mathematischen Modelllösung erfaßt wird¹³⁾, beeinträchtigt den Aussagewert der Formallösung beträchtlich.

Für komplexe und umfangreiche Entscheidungsfelder stehen bis heute häufig noch keine leistungsfähigen exakten Lösungsmethoden zur Verfügung. In diesen Fällen ist es notwendig bzw. ökonomisch sinnvoll, sich durch die Anwendung von Näherungsverfahren mit einer nicht-optimalen Lösung zufriedenzugeben. Da jedoch hierbei das Optimum nicht ersichtlich wird, bereitet die Beurteilung der Effizienz dieser Verfahren in einer konkreten Situation Schwierigkeiten. Sie kann nur über die Anwendung von Simulationen induktiv gefolgert werden.

Die Konzeption eines Entscheidungsmodelles erbringt nur dann den optimalen Informationswert, wenn die hier aufgeführten Entscheidungstatbestände aufeinander abgestimmt werden. So ist es z.B. nicht sinnvoll, den Detaillierungsgrad stark zu verfeinern, gleichzeitig aber grob wirkende Näherungsverfahren anzuwenden. Gerade diese gegenseitige Abstimmung läßt den Prozeß der Modellbildung vielschichtig und komplex erscheinen.

13) Mögliche Formen der Ungewißheitserfassung sind: Sicherheitsäquivalente, kritische Werte mittels parametrischer Variationen, Wahrscheinlichkeitsverteilungen und spieltheoretische Ansätze. Vgl. Heinen, E., Zielsystem, a.a.O., S. 159 ff.

2. Wertungsprobleme im Rahmen der Ergebnisanalyse

Die Anwendung konzipierter Entscheidungsmodelle zur Unterstützung realer Problemlösungsprozesse stellt eine Entscheidung dar, im Rahmen derer die Isomorphie von Realproblem und Formalproblem zu bewerten ist. Trotz gleichen Problemtyps wird diese Entscheidung bei jeder Modellanwendung um so dringender erforderlich, je stärker sich mit dem Zeitablauf die zugrundeliegenden Ziele und Umweltkonstellationen verändert haben. Schließlich entscheidet diese Prüfung auch über den Stellenwert, der dem Modellergebnis bei der Entscheidungsfindung beigemessen wird.

Die Schwierigkeiten bei der Bewertung des Modellergebnisses resultieren vor allem daraus, daß "man sich hier nicht, wie bei der Modellrechnung, auf ausgesuchte Informationen beschränken darf, sondern alle relevanten Informationen verarbeiten muß"¹⁴⁾. Dies betrifft die Ziele, Alternativen und Konsequenzen, welche wegen ihrer mangelnden Quantifizierbarkeit oder ihrer komplexen Struktur nicht oder nur in vereinfachter Form in die Modellrechnung miteinbezogen werden konnten. Es ist aber in gleicher Weise für die Informationen bedeutsam, die durch Entscheidungen hinsichtlich des formalen Lösungsprozesses eliminiert oder abgeändert wurden. Schließlich sind auch die Informationen heranzuziehen, die über die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Modell-Eingangsdaten zur Verfügung stehen.

Der Einbezug dieser zusätzlichen Informationen stößt häufig an die Grenze der Informationsverarbeitungskapazität des Entscheidungsträgers. Er wird daher ein vereinfachtes kognitives Modell entwickeln, auf dessen Basis er den Bewertungsprozeß vollzieht. Je geringer das mathematische

14) Altrogge, G., Entscheidungsbäume ..., a.a.O., S. 61.

Modell von dem Realproblem abweicht, eine desto größere Bedeutung wird er dem Modellergebnis zumessen, da er von dessen Relevanz überzeugt ist. Zugleich scheint jedoch die Hypothese plausibel, daß der Entscheidungsträger um so eher geneigt ist, das Modellergebnis zu übernehmen, je komplexer und unübersehbarer die zusätzlichen Informationen bzw. deren Auswirkungen sind. Wegen seiner begrenzten kognitiven Fähigkeit wird er dem Modell vertrauen und das Ergebnis in einem "Glaubensakt" übernehmen, gestützt darauf, daß zumindest im Modell "Vernunft waltet". Zugleich mit der Strukturierung des imaginären Entscheidungsfeldes hält hier die Entscheidungslogik die Informationen fern, die beim Entscheidungsträger die so gewonnene kognitive Konsistenz stören könnten.

Auf dieser Stufe des Problemlösungsprozesses wird also das Ergebnis der "Entscheidungslogik" in das Entscheidungsverhalten¹⁵⁾ des Individuums oder eines sozialen Systems integriert. Die Formallösung bildet die Anregungsinformation für einen kognitiven Prozeß, im Rahmen dessen das ökonomische Problem durch die Übernahme, Abänderung oder Ablehnung der Formallösung beseitigt wird.

Die Komplexität dieses Bewertungsprozesses, die durch das zugrundeliegende ökonomische Problem induziert wird, läßt es zusammen mit der begrenzten Informationsverarbeitungsfähigkeit des Individuums häufig zweckmäßig erscheinen, die Ergebnisbewertung im Rahmen eines kollektiven Entscheidungsprozesses¹⁶⁾ vorzunehmen. Da hierbei die individuellen Ziele

15) Vgl. hierzu u.a. Kirsch, W., Entscheidungsprozeß, Bd.I, Verhaltenswissenschaftliche Ansätze der Entscheidungstheorie, Bd.II, Informationsverarbeitungstheorie des Entscheidungsverhaltens, Bd.III, Entscheidungen in Organisationen, Wiesbaden 1970/71; Klein, H., Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O.

16) Vgl. Heinen, E., Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre, a.a.O., S. 51 f.; Heinen, E., Zielsystem, a.a.O., S. 187 ff.; Kirsch, W., Entscheidungsprozesse, Bd.III, a.a.O., S. 52 f.

und Wertordnungen sowie die Vorstellungen über Ursache-Wirkungszusammenhänge aller beteiligten Organisationsmitglieder unmittelbar in die Entscheidungsfindung eingehen, können im Vollzuge eines kollektiven Entscheidungsprozesses neue Konflikte entstehen.¹⁷⁾

Versucht man die Entscheidungen der Kapazitätsdisposition in das Schema der politischen, administrativen und operativen Subsysteme¹⁸⁾ einzuordnen, so wird ersichtlich, daß die Freiheitsgrade für die Berücksichtigung von Individualzielen mit abnehmender zeitlicher und organisatorischer Reichweite der dekomponierten Entscheidungsbereiche ständig abnehmen. Der umfassende organisatorische Aspekt des langfristigen Entscheidungsbereiches weist die Kapazitätsplanung dem politischen System zu. Das Bestreben, den "status quo" der herrschenden Machtverteilung zu wahren, verhindert in diesem System häufig die Formulierung gemeinsamer Ziele.¹⁹⁾ Wegen der hieraus resultierenden starken Stellung der Individualziele erhalten die mathematischen Modelle häufig die Aufgaben, auf der Basis einer vorgeschobenen allgemeinen Zielfunktion Argumente für den organisatorischen Verhandlungsprozeß zu liefern.²⁰⁾

Der mittelfristige Bereich der Programmplanung kann seiner Tendenz nach zwischen der administrativen und operativen

17) Zur Frage, inwieweit kollektive Entscheidungsprozesse bessere Ergebnisse zeitigen als individuelle Entscheidungsprozesse - insbesondere unter dem Aspekt des Risikoverhaltens - vgl. Kupsch, P.U., Risiko und Entscheidung, Diss. München 1971, S. 267 ff., insbes. S. 278 f.

18) Vgl. Kirsch, W., Heuristische Entscheidungsmodelle im Lichte der entscheidungs- und systemorientierten Betriebswirtschaftslehre, in: Klein, H., Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 19.

19) Kirsch, W., Entscheidungsprozesse, Bd.III, a.a.O., S. 154 f.

20) Vgl. Heinen, E., Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre, a.a.O., S. 54.

Ebene eingeordnet werden. Das Vorhandensein autorisierter Organisationsziele²¹⁾ läßt den jeweiligen Spielraum für Individualziele kleiner werden, wodurch den Ergebnissen von Entscheidungsmodellen ein höherer Stellenwert zugebilligt wird.

Der kurzfristige Bereich der Prozeßplanung schließlich ist eindeutiger Bestandteil des operativen Systems. Da die hier anstehenden wohldefinierten Entscheidungen für eine Beeinflussung durch Individualziele kaum einen Handlungsspielraum lassen, eignet sich dieser Bereich besonders für programmierte Entscheidungsmodelle. Die Grenzen operationsanalytischer Entscheidungsmodelle werden hier durch die mathematischen Lösungsmethoden und deren mangelnde Flexibilität gezogen.

21) Zum Begriff der "autorisierten Organisationsziele" vgl. Heinen, E., Zielsystem, a.a.O., S. 203; Kirsch, W., Entscheidungsprozesse, Bd.III, a.a.O., S. 132 ff.

ZWEITER TEIL:

METHODEN DER KAPAZITÄTSPLANUNG

Auf der Basis eines zeitlich sowie art- und mengenmäßig vorgegebenen Fertigungsprogrammes strebt die Kapazitätsplanung eine zielorientierte Abstimmung zwischen der zeitlichen Verteilung des Kapazitätsbedarfs und des Kapazitätsangebotes an. Ihre Determinanten sind während dieses Anpassungsprozesses im Sinne einer optimalen Verteilung des Potentialfaktorbestandes festzulegen. Dies setzt voraus, daß auf dem Fundament einer realitätsnahen Produktionstheorie die Auswirkungen dieser Entscheidungen prognostiziert werden können. Eine zielgerichtete Anpassung erfordert zudem eine entscheidungsorientierte Bewertung dieser Auswirkungen.

Die Untersuchungen dieses Teiles zielen darauf ab, mit Hilfe bekannter operationsanalytischer Verfahren Modelle zu formulieren, die auf der Grundlage der vorangegangenen Betrachtung produktions- und kostentheoretisch fundiert sind. Soweit bereits Modelle vorhanden sind, wird ihr Bezug zur dargelegten Produktions- und Kostentheorie analysiert und gegebenenfalls intensiviert.

Die Auswahl aus den Methoden des Operations Research wird auf drei charakteristische Problemtypen beschränkt. Im ersten Kapitel wird auf netzplantechnischer Basis ein deterministisches Produktionsmodell dargestellt, in dessen Rahmen die kapazitiven Anpassungsinstrumente bausteinartig eingebaut werden können. Im Anschluß hieran erfolgt die Untersuchung eines stochastischen Produktionssystems, das mittels der Warteschlangentheorie einer Lösung zugeführt werden kann. Schließlich wird ein aus mehreren Betrieben bestehendes System konzipiert, das durch Kapazitätsaustauschbeziehungen verbunden ist. Die formale Darstellung bedient sich hierbei einer dynamischen Form der linearen Programmierung.

3. DER EINSATZ DER NETZPLANTECHNIK ZUR ERMITTLUNG UND ABSTIMMUNG DES KAPAZITÄTSBEDARFES

Die Netzplantechnik stellt ein graphentheoretisches Planungsinstrument dar, durch dessen Anwendung eine systematische Analyse der strukturellen und zeitlichen Abhängigkeiten zwischen den Elementen (Aktivitäten) sowie den Ereignissen eines Projektes vorgenommen wird. Der Primärzweck dieser Planungstechnik liegt im Vollzug einer möglichst umfassenden Terminplanung, im Rahmen derer die projektimmanenten Abhängigkeiten bei der Terminierung der Einzelaktivitäten erfaßt und somit die Auswirkungen vorgelagerter Terminverzögerungen auf nachgelagerte Aktivitäten abgeleitet werden können.

Das Ziel der folgenden Untersuchung besteht einmal darin, die Zusammenhänge zwischen der Netzplantechnik und der Produktionsfunktion vom Typ C deutlich zu machen. Zum anderen geht bereits aus der Themenstellung hervor, daß der Schwerpunkt vor allem auf der Ermittlung des Kapazitätsbedarfes und dessen zielorientierter Abstimmung mit dem Kapazitätsangebot liegen wird.

3.1. Die Ableitung der Programmfunktionen mittels der Strukturanalyse

Die Produktionsfunktion vom Typ C ermittelt den Faktorverbrauch aus dem Verzehr bei einmaligem Vollzug einer Elementarkombination multipliziert mit der Anzahl gleichartiger Wiederholungen.¹⁾ Im Falle einer deterministischen Bedarfs-

1) Der tertiäre Faktorverzehr wird hierbei vernachlässigt. Vgl. Heinen, E., Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., S. 169 ff.

auflösung wird auf jeder Fertigungsstufe die Anzahl der erforderlichen Wiederholungen primärer Elementarkombinationen direkt aus der Bedarfsmenge der Endprodukte abgeleitet, während beim sekundären Wiederholungstyp noch die jeweilige Auflagenhöhe als Aktionsparameter dazwischen tritt. Beiden Typen jedoch bleibt gemeinsam, daß sie eine Analyse der Fertigungsstruktur zur Voraussetzung haben. Sie wird mit der Formulierung der Programmfunktionen vollzogen.

Die Verwendung von Strukturbildern²⁾ zur Wiedergabe der technologischen Beziehungen zwischen den einzelnen Fertigungsstufen stellt in ihrem Wesen nichts anderes dar, als die zeichnerische Abbildung eines Netzplans im Stadium der Strukturanalyse. Die Form der Strukturbilder entspricht einem Vorgangsknotennetz, wie es z.B. bei dem Netzplan-Verfahren MPM (Metra-Potential-Methode)³⁾ angewandt wird.

3.1.1. Strukturanalyse ohne Berücksichtigung technologischer Alternativen

Die Durchführung der Strukturanalyse bei der Planung des Produktionsablaufes hat zum Ziel, die zwischen den einzelnen Aktivitäten und oder Ereignissen bestehenden technologischen Abhängigkeiten zu erfassen, um die topologische Struktur des Projektes aufzuzeigen. Hierzu sind eine Reihe von Verfahren entwickelt worden, die jeweils bestimmte Be-

2) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 262 ff.

3) Vgl. hierzu u.a.: Falkenhausen, H.v., Prinzipien und Rechenverfahren der Netzplantechnik, ADL-Schriftenreihe, Bd.2, Kiel 1965, S. 33 ff.; Roy, B., Cheminement et connexité dans les graphes - Application aux problèmes d'ordonnancement, Metra serie speciale Nr.1, Paris 1962; Waschek, G./Weckerle, E., Die Praxis der Netzplantechnik, Baden-Baden und Bad Homburg v.d.H. 1967, S. 330 f.; Wille, H./Gewald, K./Weber, H.D., Netzplantechnik, München-Wien 1966, S. 60 ff.

ziehungstypen zu berücksichtigen vermögen.⁴⁾ Bei der Auswahl einer Methode ist darauf zu achten, daß auch die Abhängigkeiten mit einbezogen werden können, welche erst in der Phase der Zeit- und Kapazitätsanalyse sichtbar werden. Sämtliche Verfahren lassen sich graphisch der Grundmethode des Vorgangspfeilnetzes oder der des Vorgangsknotennetzes zuordnen.

Dieser Abhandlung liegt das Verfahren CPM (Critical Path Method) zugrunde, da es der kürzesten Einführung bedarf und für die grundsätzliche Betrachtung ausreichend ist. Seine graphische Ausdrucksform findet es im Vorgangspfeilnetz, bei dem die zeit- und faktorverzehrenden Arbeitsprozesse als Pfeile dargestellt werden. Ereignisse sind Zeitpunkte, die den Beginn und/oder das Ende von Tätigkeiten anzeigen. Im Netzplan werden sie durch Knoten symbolisiert. Existieren zwischen Ereignissen Beziehungen, welche nicht auf zeit- und faktorverbrauchenden Aktivitäten beruhen, so können diese durch Scheinaktivitäten - gekennzeichnet durch gestrichelte Pfeile - miteinbezogen werden (Abb. 3.1).

Die Aufgliederung eines Projektes in Tätigkeiten und Ereignisse weist jeweils einen zweckentsprechenden Detaillierungsgrad auf.⁵⁾ Folgt der Strukturanalyse in einer späteren Planungsphase eine Kapazitätsanalyse, verbunden mit einem Ausgleichsalgorithmus, so ist es vorteilhaft, ein

4) Z.B. die Verfahren CPM, Pert, MPM, HMN, PDM und PPS. Vgl. hierzu u.a. Schwarze, J., Strukturmodelle der Netzplantechnik, ZfbF 1970 (22), S. 699-726; Höher, W., Einführung in die Netzplantechnik, in: Jacob, H. (Hrsg.), Schriften zur Unternehmensführung, Bd.9: Anwendung der Netzplantechnik im Betrieb, Wiesbaden 1969, S. 5-28; Roy, B., Die Physiognomie der Ablaufprobleme und Netzplantechnik, in: Roy, B. (Hrsg.), Ablaufplanung, München-Wien 1968, S. 9-32; Rosenkranz, F., Netzwerktechnik und wirtschaftliche Anwendung, a.a.O., S. 124 f.

5) Vgl. Gübeli, L., Terminsteuerung mittels Netzplantechnik, J.O. 1966 (35), S. 408-414, hier S. 408.

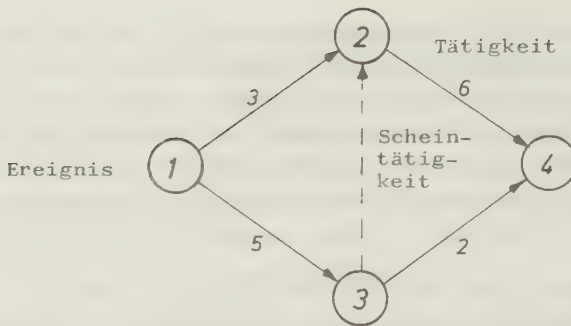


Abb.3.1

Projekt soweit aufzugliedern, daß eine Tätigkeit jeweils nur eine Faktorart beansprucht. Hierdurch können die Aktivitäten innerhalb des zulässigen Spielraumes durch Einschieben von Wartezeiten relativ unabhängig voneinander verlagert werden. Belegt jedoch eine Tätigkeit gleichzeitig mehrere Kapazitätsarten, so verursacht ihre Verschiebung, die zum Zwecke des Belastungsausgleiches bei einer Faktorgruppe vorgenommen wird, durch die starre Koppelung auch bei sämtlichen zugleich beanspruchten Kapazitätsarten eine Belastungsänderung.

Die herkömmliche Netzwerktechnik setzt voraus, daß die technologische Struktur des Projektes eindeutig festgelegt ist. Mitunter stehen jedoch zur Erzeugung von Zwischenprodukten mehrere Fertigungsverfahren zur Verfügung. Sind die hierzu jeweils erforderlichen Faktorarten in ausreichendem Maße vorhanden, so kann anhand des Wirtschaftlichkeitskriteriums von vornherein ein Verfahren als das optimale ausgewählt werden. Bei Auftreten einer Knappheitssituation hingegen läßt sich das optimale Verfahren nicht mehr a priori bestimmen. Zur Erfassung dieser technologischen Freiheitsgrade ist eine Verfeinerung dieses Planungsinstrumentes nötig.⁶⁾

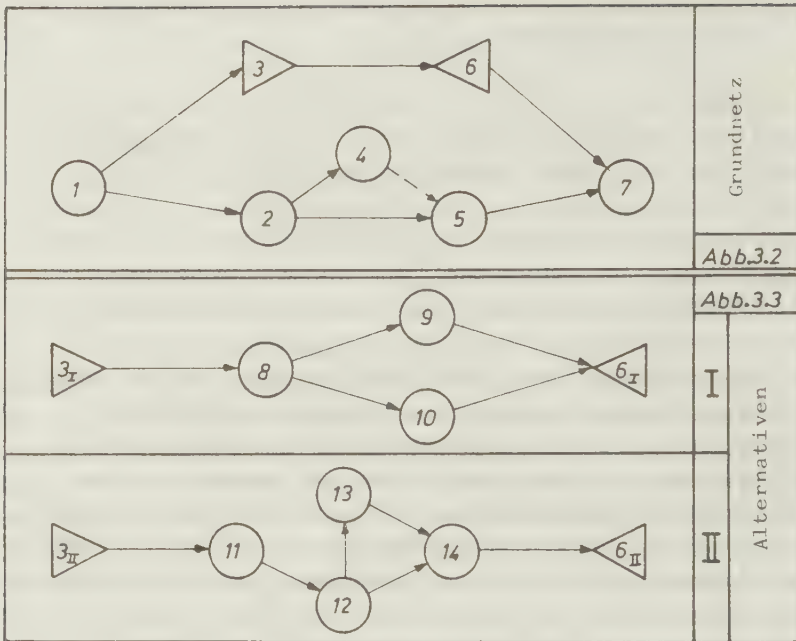
6) Vgl. Buttler, G., Netzwerkplanung, Würzburg-Wien 1968, S. 134 ff.

3.1.2. Strukturanalyse mit Berücksichtigung technologischer Alternativen

Die Anwendung technologischer Alternativen zum Kapazitätsausgleich hätte bei der herkömmlichen Netzplantechnik die Konstruktion eines neuen Netzwerkes zur Folge. Das Einfügen von Entscheidungsknoten ermöglicht es jedoch, das eindeutig bestimmte Netzwerk beizubehalten und nur die variablen Netzsegmente auszutauschen. Die Voraussetzung hierzu ist, daß die Struktur zwischen den Entscheidungsknoten durch ein geschlossenes Netz⁷⁾ abbildbar ist, damit durch einen Verfahrenstausch keine Beziehungen zerschnitten werden. Beginn und Ende einer technologischen Alternative wird dann jeweils durch einen Entscheidungsknoten - dargestellt als Dreieck - definiert. Alle zur Erzeugung eines Zwischenproduktes ökonomisch sinnvollen Alternativen erhalten die gleichen Entscheidungsknotennummern, wobei die einzelnen Alternativen durch einen Index gekennzeichnet werden (Abb. 3.2; 3.3).

Der Vorteil dieser Methode wird vor allem bei einer Fertigungsablaufplanung mit Hilfe elektronischer Datenverarbeitungsanlagen ersichtlich. Hier sind nur einmal das gesamte Grundnetz sowie die jeweiligen alternativen Netzsegmente, geordnet nach bestimmten ökonomischen (Kosten) oder technischen (Toleranzen, Oberflächengüte usw.) Kriterien, zu speichern. Werden innerhalb des Planungsprozesses Kapazitätsausgleichsmaßnahmen erforderlich, so können die Fertigungsalternativen in dieser Reihenfolge nach Art der parametrischen Variation in die Planung miteinbezogen werden. Soweit es die Outputverhältnisse der Verfahren zulassen, besteht die Möglichkeit, gleichzeitig mehrere Alternativen zu realisie-

7) Das heißt, die Tätigkeiten dürfen nur zwischen den Entscheidungsknoten verlaufen und keine Verbindung zu den Ereignissen des restlichen Grundnetzes haben.



ren. Diesem Vorgehen entspricht bei der Produktionsfunktion vom Typ C die Festlegung der Verteilungsparameter.⁸⁾

3.2. Die Ermittlung der Zeiten bei der Terminplanung

Nach Durchführung der Strukturanalyse wird in der zweiten Phase dem bisher dimensionslosen Netzwerk der zeitliche Bezug erteilt. Diese Terminanalyse kann in zwei Abschnitte zerlegt werden. Im ersten Teil der Analyse wird versucht, die Zeitdauer einer einzelnen Tätigkeit zu bestimmen. Dies entspricht der Festlegung der Basisprozeßzeit im Rahmen der Produktionsfunktion vom Typ C.

⁸⁾ Vgl. S. 59 dieser Arbeit.

Ist die Dauer jeder Tätigkeit fixiert, so wird im zweiten Teil eine vollständige Terminplanung für das gesamte Projekt durchgeführt. Das produktionstheoretische Analogon hierzu bildet die Ableitung der Vorlaufzeitkoeffizienten. Diese Analogiebetrachtung hat jedoch im strengen Sinne nur dann Gültigkeit, wenn die Extension der Begriffe "Tätigkeit" und "Basisprozeß" übereinstimmt.

3.2.1. Die Zeitermittlung für eine Aktivität

Die Zeitermittlung für eine Aktivität kann auf stochastischer (PERT) oder deterministischer (CPM) Basis vollzogen werden. Während die stochastische Zeitermittlung teilweise bei längerfristigen Entwicklungs- und Forschungsprojekten angewandt wird, erfolgt die Zeitplanung bei Fertigungsprojekten fast ausschließlich auf deterministischer Basis. Dies darf jedoch nicht zu der Annahme verleiten, daß hier über die Durchführungszeit vollständige Informationen zur Verfügung stehen. Gerade beim Faktor Arbeit kann die Leistung großen subjektiv bedingten Schwankungen unterliegen, so daß die Ausführungszeiten nur Wahrscheinlichkeitswerte darstellen. Sachliche Potentialfaktoren bieten hier aufgrund der gegebenen Maschinenleistung meist günstigere Voraussetzungen.

Bei der Planung des Zeitraumes, der für die Ausführung einer Aktivität anzusetzen ist, geht man zweckmäßigerweise von der kleinsten Planungseinheit, dem Basisprozeß j_k , aus. Den technologischen Gegebenheiten entsprechend läßt sich die Prozeßzeit t_{jk} innerhalb bestimmter Grenzen variieren. Zeitfixe Basisprozesse, die bei maschinenintensiven Verfahren häufig anzutreffen sind⁹⁾, lassen keine derartigen zeitlichen Freiheitsgrade mehr zu. Zeitvariable Basisprozesse

9) Vgl. Wagner, G., Netzplantechnik in der Fertigung, München 1968, S. 82.

hingegen bedürfen eines zusätzlichen Kriteriums zur Bestimmung der Prozeßzeit. Besteht keine Faktorknappheit, so können die Prozeßzeiten mit Hilfe des Wirtschaftlichkeitszieles unabhängig voneinander festgelegt werden. Andernfalls sind jedoch die so fixierten Zeiten nur als eine Ausgangslösung anzusehen, die beim Belastungsausgleich der übergeordneten Zielsetzung entsprechend abzustimmen sind. Ist die Basisprozeßzeit fixiert, so kann meist auch die Elementarnutzzeit τ_{jk} , während der ein Potentialfaktor durch den Basisprozeß belegt ist, ohne Schwierigkeiten abgeleitet werden.

Der Begriffsinhalt einer Aktivität ist fast immer weitläufiger als der eines Basisprozesses. Umfaßt er lediglich die Anzahl gleichartiger Basisprozesse (Typ A), so geht deren Wiederholungsfunktion in die Zeitermittlung einer Aktivität ein. Sämtliche Parameter, die in der Wiederholungsfunktion enthalten sind¹⁰⁾, beeinflussen somit auch die Aktivitätsdauer. Diese Zeitdauer q_{jk}^N sowie die Aktivitätsnutzzeit Q_{jk}^N errechnen sich aus (3.1) und (3.2).

$$(3.1) \quad q_{jk}^N = t_{jk} \cdot w_{jk}$$

$$(3.2) \quad Q_{ijk}^N = \tau_{ijk} \cdot w_{jk}$$

Beinhaltet eine Aktivität alle m Basisprozesse einer Fertigungsstufe (Typ B), so wird ihre Dauer bei gleichzeitigem Beginn aller Prozesse durch den am längsten auszuführenden Basisprozeß bestimmt (3.3).

$$(3.3) \quad q_k^N = \text{MAX} (t_{jk} \cdot w_{jk}) \quad \text{für } j = 1 \text{ bis } m$$

10) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, S. 262 ff. und S. 17 dieser Arbeit.

$$(3.4) \quad Q_{jk}^N = \sum_{j=1}^m \tau_{ijk} \cdot w_{jk}$$

Die kürzeste Aktivitätsdauer wird ceteris paribus dann erreicht, wenn die internen Verteilungsparameter so fixiert werden, daß die Durchführungszeiten der einzelnen Prozesse gleich lang sind. Bereits bei der Bestimmung der Aktivitätsdauer sind daher auf jeder Fertigungsstufe eine Reihe von Parametern festzulegen.

Die meisten maschinenintensiven Prozesse sind vollständig determiniert, so daß Freiheitsgrade nur hinsichtlich der Fixierung der Verteilungsparameter bestehen. Unterstellt man, daß bei ihrer Festlegung eine möglichst große Harmonisierung der Durchführungszeiten (q_{jk}) der einzelnen Parallelprozesse (jk) angestrebt wird, so reduzieren sich die Freiheitsgrade auf die Entscheidung über die Anzahl der einzusetzenden Parallelprozesse.¹¹⁾ Die hieraus resultierende Abhängigkeit der Aktivitätsdauer von der Anzahl der Parallelprozesse ist in Abb. 3.4. dargestellt, wobei unterschiedliche Basiszeiten t_{jk} als Parameter miteinbezogen sind.

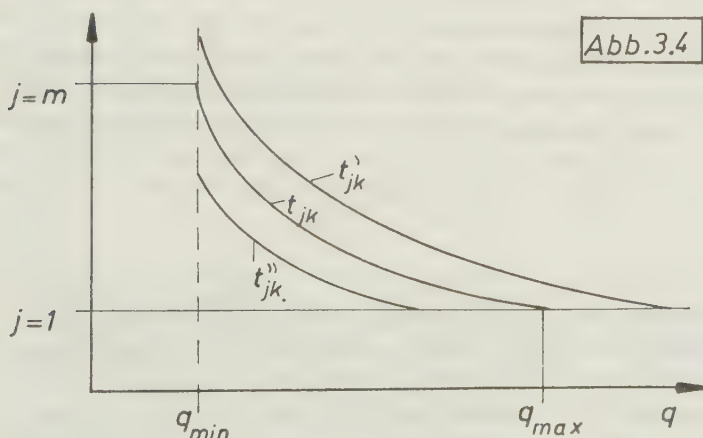


Abb.3.4

11) Der Abbildung liegt die Annahme zugrunde, daß die sekundären Basisprozesse "Rüsten" in der Aktivität mitenthalten sind.

Die Kurve in Abb. 3.4 stellt eine Verbindungslinie diskreter Punkte dar, da nur ganzzahlige Variable realisierbar sind. Kann lediglich eine genau definierte Anzahl von Parallelprozessen durchgeführt werden, so schrumpft die Kurve auf einen Punkt zusammen. Dieser Fall der zeitfixierten Aktivitätsdauer wird in der Literatur unter der Typenbezeichnung "Resource Scheduling"¹²⁾ behandelt, während der vor allem beim Personaleinsatz anzutreffende Typ der zeitflexiblen Aktivitäten als "Manpower Smoothing"¹²⁾ bezeichnet wird. Bei letzterem Typ wird meist innerhalb eines Normalbereiches die Konstanz der Prozeßzeit unterstellt, während außerhalb dieser Zone eine Zunahme dieser Zeitgröße angenommen wird.¹³⁾

Häufig werden mehrere hintereinandergeschaltete Fertigungsstufen zu einer Sammelaktivität (Typ C) zusammengefaßt. Die Aktivitätsdauer errechnet sich dann aus der Summe der längsten Prozeßdauern der n Fertigungsstufen (3.5).

$$(3.5) \quad q^N = \sum_{k=1}^n q_k^N = \sum_{k=1}^n \text{MAX} (t_{jk} \cdot w_{jk}) \quad \text{für } j=1 \text{ bis } m_k$$

In gleicher Weise können parallel zu fertigende Zwischenprodukte zu einer Sammelstätigkeit (Typ D) vereinigt werden. Bei diesem Vorgehen ist die längste Durchführungsdauer der einzelnen n Paralleltätigkeiten für die Aktivitätsdauer bestimmend (3.6).

$$(3.6) \quad q = \text{MAX } q_k \quad \text{für } k = 1 \text{ bis } n$$

12) Müller-Merbach, H., Behandlung von Kapazitätsrestriktionen in der Netzplantechnik, in: Jacob, H. (Hrsg.), Schriften zur Unternehmensführung, Bd.9: Anwendung der Netzplantechnik im Betrieb, Wiesbaden 1969, S. 41-52.

13) Vgl. Wagner, G., Netzplantechnik ..., a.a.O., S. 83.

Werden bei der Bildung von Sammelaktivitäten die Typen C und D kombiniert, so kann die Zeitberechnung für dieses Netzsegment nicht mehr mittels einfacher Gleichungen definiert werden. Vielmehr haben hier die gleichen Regeln Gültigkeit, wie sie bei der Zeitermittlung für das gesamte Netz angewandt werden.

3.2.2. Die Zeitermittlung für ein Projekt

Sind die Zeitwerte aller Aktivitäten ermittelt, so schließt sich für das gesamte Projekt die Durchführung einer vollständigen Terminplanung an. Dieser zweite Abschnitt der Zeitanalyse findet seine produktionstheoretische Analogie in der Bestimmung der Vorlaufzeitkoeffizienten. Gliedert man die Tätigkeiten soweit auf, daß sie den Basisprozessen gleichzusetzen sind, so entsteht eine vollkommene Identität zwischen netzplantechnischer und produktionstheoretischer Terminplanung.

In einer progressiven Berechnung des Netzwerkes - ausgehend vom Beginnereignis des Projektes, dem man den Zeitpunkt "Null" zuordnet - werden die frühest möglichen Termine für die jeweiligen Beginn- und Endzeitpunkte aller Tätigkeiten ermittelt. Der frühest mögliche Beginnzeitpunkt einer Tätigkeit ist identisch mit dem frühest möglichen Termin des unmittelbar vorausgehenden Ereignisses, wobei dieser Termin wiederum dem spätesten aller frühest möglichen Endzeitpunkte der Tätigkeiten entspricht, welche dieses Ereignis bilden.¹⁴⁾

14) Vgl. zur Berechnung von Netzwerken u.a.: Berbig, R./Franke, F., Netzplantechnik, 2. Aufl., Berlin 1969, S. 52 ff.; Buttler, G., Netzwerkplanung, a.a.O., S. 29 ff.; Kern, N., Netzplantechnik, a.a.O., S. 36 ff.; Falkenhaußen, H.v., Prinzipien und Rechenverfahren, a.a.O., S. 16 ff.; Wagner, G., Netzplantechnik ..., a.a.O., S. 36 f.; Waschek, G./Weckerle, E., Die Praxis der Netzplantechnik, a.a.O., S. 118 ff.; Wille, H./Gewald, K./Weber, H.D., Netzplantechnik, a.a.O., S. 40 f., S. 51 f. und S. 65 f.; Budil, W., Die Netzplantechnik, ZfO 1965 (34), S. 43 f.

Den frühest möglichen Endtermin einer Aktivität erhält man, wenn man zum frühest möglichen Beginnstermin die Tätigkeitsdauer addiert. Die analogen Vorlaufzeitkoeffizienten, die die Endzeitpunkte der Basisprozesse wiedergeben, enthalten dann die frühest möglichen Endtermine.

In einem retrograden Rechenprozeß werden nun - ausgehend vom (frühest möglichen) Endtermin des Projektes - die spätest zulässigen Beginn- und Endzeitpunkte der Tätigkeiten errechnet. Der spätest zulässige Endzeitpunkt einer Tätigkeit entspricht dem spätest zulässigen Termin des unmittelbar nachfolgenden Ereignisses. Dieser Termin wiederum ist identisch mit dem frühesten aller spätest zulässigen Beginnstermine der Tätigkeiten, die von diesem Ereignis ausgehen. Subtrahiert man vom spätest zulässigen Endzeitpunkt einer Tätigkeit deren Zeitdauer, so erhält man den zugehörigen Beginnzeitpunkt. Die hierzu analogen Vorlaufkoeffizienten geben die spätest zulässigen Endzeitpunkte der Basisprozesse wieder.

Durch diese beiden Berechnungen werden sämtliche Aktivitäten in zwei Zeitraster eingeplant, welche jeweils die frühest möglichen und spätest zulässigen Termine enthalten. Die auf eine Tätigkeit oder ein Ereignis bezogene Differenz dieser Zeitwerte wird als Spielraum¹⁵⁾ bezeichnet. Der Spielraum sagt aus, inwieweit eine Tätigkeit verschoben werden kann, ohne daß dies einen Einfluß auf den Endtermin des Projektes hat. Die Kette der Aktivitäten, die über keinen Spielraum verfügen, bildet den kritischen Weg.

Diese Phase der Netzwerkplanung stellt eine ideale Zeitrechnung dar, bei der noch keinerlei Kapazitätsbeschränkungen berücksichtigt werden.¹⁶⁾

15) Diese Pufferzeit kann weiter unterteilt werden in einen freien und unabhängigen Spielraum. Siehe hierzu: Wille, H./Gewald, K./Weber, H.D., Netzplantechnik, a.a.O., S. 45.

16) Dies bedeutet jedoch nicht, daß der Ermittlung der Aktivitätsdauer keine Kapazitätsvorstellungen zugrunde liegen. Vielmehr sind diese bei der Festlegung der Parameter implizit enthalten.

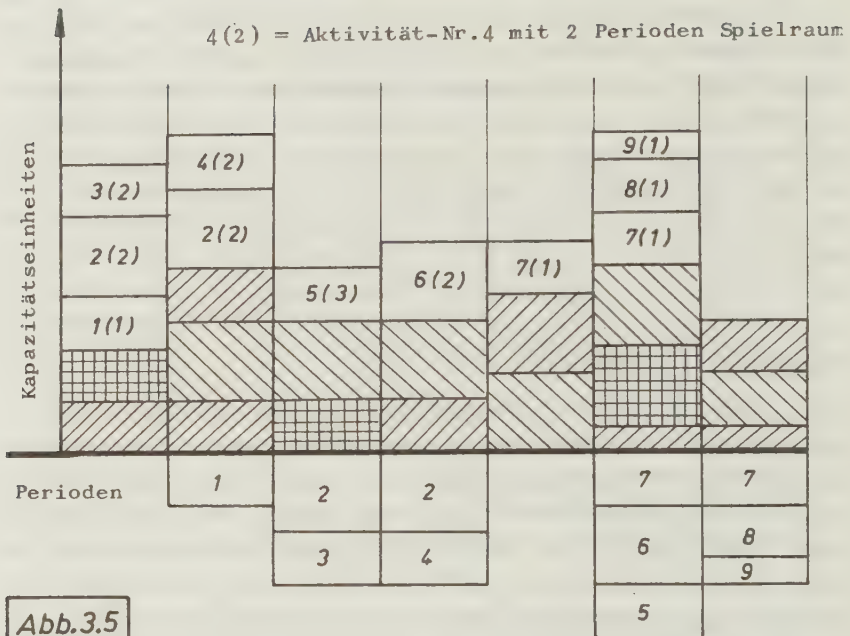
3.3. Die Erstellung von Faktorbelastungsdiagrammen

Eine Terminplanung ohne den Einbezug von Kapazitätsbeschränkungen führt zu unrealistischen Ergebnissen, wenn in einzelnen Perioden der Kapazitätsbedarf über dem vorhandenen Kapazitätsangebot liegt. Die Ermittlung der Belastungsprofile, in denen für die jeweiligen Potentialfaktoreinheiten der Nutzzeitbedarf über der Zeit aufgetragen ist, stellt daher den ersten Schritt einer jeden Kapazitätsanalyse dar. Hierzu teilt man die Zeit bis zum Planungshorizont in Perioden ein, wobei deren Größe mit der Spezifizierung der Aktivitäten sinnvoll abzustimmen ist.¹⁷⁾

Die in der Phase der Terminplanung errechneten Beginn- und Endzeitpunkte der Aktivitäten entscheiden darüber, welchen Perioden die Tätigkeiten belastet werden können. Für die Aktivitäten, die den kritischen Weg bilden, sind diese Termine eindeutig fixiert, während alle anderen Tätigkeiten noch über Freiheitsgrade verfügen. Folgt der Belastungsrechnung ein retrogrades (progressives) Ausgleichsverfahren, so sind die Aktivitäten jeweils zu den spätest zulässigen (frühest möglichen) Terminen einzuplanen.

In Abbildung 3.5 ist ein Diagramm dargestellt, bei dem auf der positiven Ordinatenachse der Kapazitätsbedarf bei frühest möglichen Terminen ausgewiesen ist. Die schraffierten Flächen geben die Belastung durch die Tätigkeiten wieder, die über keinen zeitlichen Spielraum verfügen. Darüber sind die restlichen Tätigkeiten in der Reihenfolge ihrer Pufferzeiten aufgetragen. Um auch die Belastungssituation beim entgegengesetzten Zeitextrem zu verdeutlichen, wird in der negativen Ordinatenrichtung der Kapazitätsbedarf bei spätest zulässigen Terminen aufgezeigt. Der Disponent erhält

17) Vgl. S. 33 sowie Fußnote 35 auf S. 33 dieser Arbeit.



so eine Vorstellung über die Spannweite möglicher Belastungssituationen.

Die Verschiebung einer Tätigkeit im Rahmen ihrer Pufferzeit kann nur bei einem unabhängigen Spielraum isoliert vorgenommen werden. In allen anderen Fällen beeinflusst die Verlagerung einer Aktivität auch die Belastungstermine und Spielräume der nachgeschalteten Tätigkeiten. Beansprucht eine Tätigkeit zudem noch mehrere Kapazitätsarten, so bewirkt ihre Verschiebung bei sämtlichen benötigten Faktorarten eine Belastungsänderung.¹⁸⁾

18) Vgl. S. 136

dieser Arbeit.

Sind Beginn- und Endzeitpunkte der Aktivitäten terminiert, so ist hiermit nur dann der zeitliche Belastungsanfall bestimmt, wenn die Aktivitätsdauer q_k^N mit der Faktornutzzeit Q_{ijk}^N übereinstimmt. Wird hingegen der Potentialfaktor nicht während der gesamten Tätigkeitsdauer belegt - wie dies vor allem bei gering aufgegliederten Aktivitäten häufig der Fall ist -, so bedarf es zusätzlicher Daten oder Annahmen, um die Kapazitätsbelegung terminieren zu können. Vor allem bei zeitfixen Tätigkeiten, bei denen eine Belastungsumverteilung nicht zulässig ist, würde eine Verteilung des Nutzzeitbedarfes über die gesamte Aktivitätsdauer einen unrealistischen Belastungsausweis bewirken.¹⁹⁾ Die Terminierung dieser Belastungszeit entscheidet bei einer mehrperiodigen Belegungsdauer schließlich über deren anteilige Periodenzurechnung.

3.4. Anpassungsmöglichkeiten des Kapazitätsbedarfes

Die aus der Belastungsanalyse resultierende zeitliche Verteilung des Kapazitätsbedarfes wird hinsichtlich der betrieblichen Zielsetzung meist noch keine befriedigende Form aufweisen, so daß man sich zu ihrer Umgestaltung zahlreicher Ausgleichsverfahren bedient, welche jeweils eine geeignete Anzahl von Parametern aufeinander abstimmen. Bei Ausstattungsentscheidungen liegt der Zweck einer Umverteilung in der Glättung des Kapazitätsbedarfes, um so die Höhe des erforderlichen Potentialfaktorbestandes möglichst gering zu halten. Ist hingegen der Potentialfaktorbestand fixiert, so strebt man durch die Umverteilung eine Übereinstimmung von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot an.

19) Vgl. Wagner, G., Netzplantechnik, a.a.O., S. 85 ff.

Die Möglichkeiten zur Glättung der Kapazitätsbelastungskurve können in drei Kategorien eingeteilt werden. In der ersten Gruppe wird versucht, durch Zusammenfassen und Verschieben von Aktivitäten die Belastungssituationen der einzelnen Perioden einander anzunähern. Da hierbei hauptsächlich organisatorische Probleme auftreten, wird diese Kategorie als organisatorische Reihung bezeichnet werden. In einer zweiten Gruppe wird durch Eingriffe in den Tätigkeitsablauf eine Verlagerung des Belastungsanfalles angestrebt. Der Anwendung dieser Parameter sind jedoch häufig enge technologische Grenzen gesetzt. Sind die Möglichkeiten dieser beiden Kategorien ausgeschöpft, so bleibt als "ultima ratio" nur die Verschiebung der Endtermine. Die hierbei entstehenden Probleme, die mehr außerbetrieblicher Art sind, werden bei der Darstellung dieser Kategorie angedeutet.

3.4.1. Die Änderung der organisatorischen Reihenfolge

Die organisatorische Reihenfolge bestimmt, in welcher zeitlichen Anordnung die einzelnen Tätigkeiten die jeweiligen Kapazitätseinheiten belegen. Die Möglichkeit ihrer Variation besteht nur insoweit, als die einzelnen Tätigkeiten über zeitliche und technologische Freiheitsgrade verfügen.

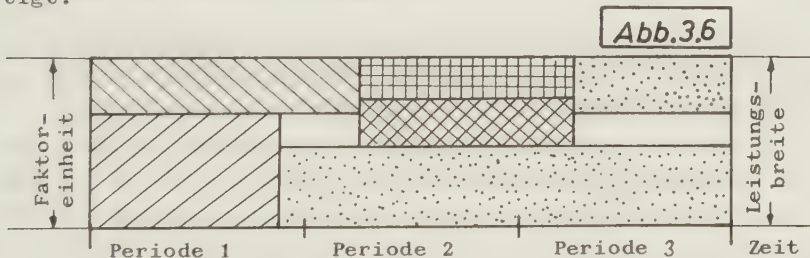
Soll im Rahmen der Reihenfolgevariation das exakte Optimum ermittelt werden, so stehen hierzu nur kombinatorische Methoden zur Verfügung.²⁰⁾ Da jedoch diese Enumerationsverfahren wegen ihres enormen Rechenaufwandes nur bei Spezialproblemen anwendbar sind, bedient man sich meist heuristischer Verfahren, welche mit vertretbarem Rechenaufwand eine befriedigende Lösung ansteuern.

20) Vgl. hierzu Kap. 1.4.1., S. 52 dieser Arbeit, sowie Miller-Merbach, H., Operations Research, a.a.O., S.325 ff.; Buttler, G., Netzwerkplanung, a.a.O., S. 47.

3.4.1.1. Die optimale Kombination von Aktivitäten

Unter bestimmten technologischen Voraussetzungen ist es möglich, auf einem Potentialfaktor gleichzeitig unterschiedliche Aktivitäten, denen jedoch gleichartige Bearbeitungsvorgänge zugrunde liegen, herzustellen.²¹⁾ Im Unterschied zum Outputniveau, das die Menge der gleichzeitig erstellten, identischen Aktivitäten wiedergibt, werden hier "uno actu" verschiedene Erzeugnisse gefertigt.

Besteht bei der Belegung eines Potentialfaktors die Möglichkeit einer derartigen Kombination von Aktivitäten, so ist die Angabe der jeweils erforderlichen Nutz- und Durchführungszeit zur Bestimmung des Kapazitätsbedarfes nicht mehr ausreichend. Vielmehr ist für jede Aktivität zu vermerken, einen welcher Potentialfaktoranteil sie benötigt.



In Abbildung 3.6 ist die "Leistungsbreite" eines Potentialfaktors sowie dessen Belegung graphisch dargestellt. Die einzelnen Balken symbolisieren die Tätigkeiten, welche jeweils gleichzeitig den Potentialfaktor belegen. Aus der Form der Darstellung wird ersichtlich, daß diese Kombinationsmöglichkeit dem Verschnittproblem analog ist²²⁾, bei dem eine

21) Beispiele hierfür sind die Belegung von Glühöfen, Hobelmaschinen, Lackierstraßen, Zusammentragmaschinen für Druckereierzeugnisse u.ä.

22) Faltlhauser, R., Verschnittoptimierung, in: Bussmann, K.F./Mertens, P. (Hrsg.), Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung, Stuttgart 1968, S.187-205.

gegebene Fläche in kleinere Formate unterschiedlicher Größe aufgeteilt werden soll.

Versucht man den eindimensionalen Ansatz der Verschnittoptimierung auf das Kombinationsproblem zu übertragen, so ist zu diesem Zweck die Zeit in einzelne Abschnitte zu zerlegen. Innerhalb eines derartigen Abschnittes t kann eine Änderung der Belegungssituation dann nicht erfaßt werden.²³⁾ Wird die Leistungsbreite eines Potentialfaktors i mit L_{it} bezeichnet, der Anteil des Faktors i , den ein Zwischenprodukt der Aktivität j belegt, mit b_{ji} und mit α_{jit} die Zahl der Zwischenprodukte, die im Zeitabschnitt t gleichzeitig bearbeitet werden²⁴⁾, so gilt die Bedingung (3.7).

$$(3.7) \quad \sum_{j=1}^n \alpha_{jit} \cdot b_{ji} \leq L_{it}$$

Um zu gewährleisten, daß innerhalb von s Zeiteinheiten die erforderliche Anzahl von Zwischenprodukten erstellt wird, ist noch die Bedingung (3.8) einzuhalten,

$$(3.8) \quad \sum_{t=1}^s \alpha_{jit} \cdot T_{it} \geq q_{ji}$$

wobei q_{ji} die erforderliche Nutzzeit der Aktivität j bei einem Outputverhältnis von α_{jit} gleich "1" und T_{it} die Zeitdauer der Periode t symbolisieren.²⁵⁾ Unter Heranziehung einer Zielfunktion kann dieses Modell mit Hilfe der linearen Planungsrechnung einer Lösung zugeführt werden.

23) Die Zeitabschnitte sind daher möglichst klein zu wählen, um ein aussagefähiges Ergebnis zu erhalten.

24) Dieser Koeffizient entspricht dem Outputverhältnis β_j .

25) bei dieser Ableitung wurden Rüstzeiten, die in Abhängigkeit von α_{jit} oder bei Unterbrechnungen der Aktivitäten anfallen, j_{it} vernachlässigt. Ebenso wird die Prozeßzeit als unabhängig vom Output angenommen.

Weitere Nebenbedingungen sind zu formulieren, wenn die Unterbrechung von Aktivitäten unzulässig ist. Soll hingegen die jeweilige Zeitdauer der Belegung explizit im Modell erfaßt werden (Abb. 3.6), so erfordert die optimale Gestaltung der $(b_{ji}; t)$ -Ebene die Anwendung eines komplexen zweidimensionalen Ansatzes.²⁶⁾

3.4.1.2. Die Verschiebung von Aktivitäten im Rahmen ihrer Pufferzeiten

Tätigkeiten, die über einen zeitlichen Spielraum verfügen, können innerhalb dieser Grenzen verschoben werden, ohne daß sich dies auf den Projekttermin auswirkt. Bei Ausstattungsentscheidungen für Projekte mit fixen Endterminen²⁷⁾ bedient man sich daher häufig dieses Instrumentariums zur Glättung des Kapazitätsbedarfes.

Da eine derartige "Kapazitätsterminierung" ein kombinatorisches Problem beinhaltet, stehen zur optimalen Lösung nur die rechenaufwendigen Verfahren der dynamischen Planungsrechnung zur Verfügung. Sieht man von kleinen Spezialproblemen ab, so muß man sich mit Näherungslösungen begnügen, die mittels speziell entwickelter Heuristiken angesteuert werden.

Die Anwendung dieser Ausgleichsmethoden findet ihre produktionstheoretische Analogie in einer Änderung der Vorlaufzeitkoeffizienten. Während die punktuelle Methode innerhalb einer Faktorart jeweils die größte Belastungsspitze aufsucht und von hieraus eine Aktivitätsverlagerung vornimmt,

26) Vgl. Falthäuser, R., Verschnittoptimierung, a.a.O., S. 193 f.

27) Die Endtermine können natürlich mittels der parametrischen Variation verändert werden (Kap. 3.4.3.). Sind die Kapazitäten fest vorgegeben, so müssen die Endtermine als variabel gelten (vgl. Teil III dieser Arbeit).

führt die periodische Methode den Belastungsausgleich in einer Planungsrichtung stetig fortschreitend durch. Beide Methoden lassen sich jeweils retrograd, progressiv oder gradientenorientiert konzipieren. Sind mehrere Faktorarten zu glätten, so ist ihre Gewichtung ein weiteres Systematisierungsmerkmal. Serielle oder parallele Anordnungen stellen hier die Grundtypen dar, welche jedoch auch problembezogen kombiniert werden können. In Tabelle 2 ist diese faktorbezogene Systematisierung zusammenfassend dargestellt.

intrafaktoriell interfaktoriell	punktuell	periodisch	retrogrades Verfahren progressives Verfahren Gradientenverfahren
seriell			
parallel			
kombiniert			

Tabelle 2

Schließlich bedarf es noch eines Kriteriums, anhand dessen die einzelnen Lösungen beurteilt werden können. Die Minimierung der quadrierten Periodenbelastung - wie sie Burgess und Killebrew verwenden²⁸⁾ - soll als Maßstab hierfür dienen.

A. PUNKTUELLES MODELL:

In den einzelnen Perioden sind die Aktivitäten nach der Größe ihres Spielraumes zu sortieren, wobei kritische Aktivitäten fest eingeplant werden können. Der anschließende

28) Vgl. Burgess, A.R./Killebrew, J.B., Variation in Activity level on a Cyclical Arrow Diagramm, in: JIE XIII (1962), S. 76-83.

Ausgleichsalgorithmus läßt es zweckmäßig erscheinen, zur Verringerung des Rechenaufwandes eine Glättungsuntergrenze ($\bar{x}$) zu bestimmen. Hierzu wird die durchschnittliche Periodenbelastung (x') als die ideale Untergrenze um einen Toleranzfaktor α erhöht (3.9).

$$(3.9) \quad \bar{x} = x' + \alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i + \alpha$$

Hierbei bedeuten:

x_i = effektiver Kapazitätsbedarf in der Periode i

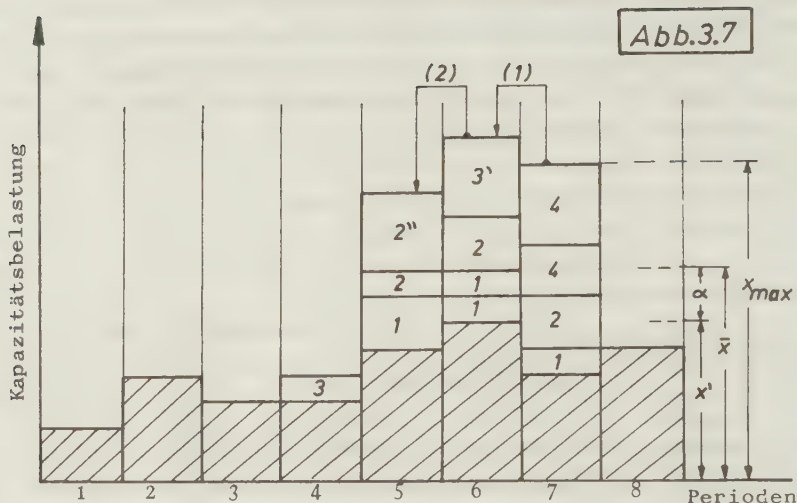
n = Anzahl der Perioden

Die Zielsetzung des Verfahrens besteht nun darin, die Summe der quadrierten Belastungsüberschreitungen (y_i) zu minimieren.

$$(3.10) \quad \sum_{i=1}^n y_i^2 \longrightarrow \text{MIN}$$

$$(3.11) \quad y_i = \begin{cases} (x_i - \bar{x}) & \text{für } (x_i - \bar{x}) > 0 \\ 0 & \text{für } (x_i - \bar{x}) \leq 0 \end{cases}$$

Ausgangspunkt des hier dargestellten retrograden Verfahrens bildet ein Belastungsdiagramm, bei dem die Aktivitäten zu den spätest zulässigen Terminen eingeplant sind (Abb. 3.7). In einem ersten Verschiebungsprozeß (1) wird von der (zuvor ermittelten) am stärksten belasteten Periode 7 die Aktivität mit dem größten Spielraum (4 Perioden) in die vorhergehende Periode verlagert. Da jedoch hierdurch eine noch größere Belastungsspitze in Periode 6 entsteht, wird der Zielfunktionswert (3.10) verschlechtert. In einem zweiten Verschiebungsprozeß (2) wird daher wiederum die Aktivität mit dem größten Spielraum (jetzt 3') in die vorhergehende



Periode verwiesen. Hierdurch erhält die Zielfunktion ihren bisher niedrigsten Wert. Nach Aufsuchen der neuen Belastungsspitze²⁹⁾ wird das Verfahren solange fortgeführt, bis entweder keine Glättung mehr möglich ist oder die Zielfunktion den Wert "Null" erreicht hat.

Beansprucht eine Aktivität gleichzeitig mehrere Faktorarten, so ändert deren Verschiebung das Belastungsprofil aller betroffenen Faktoren. Die Verlagerung von Aktivitäten hat jedoch auch - soweit sie nicht über einen unabhängigen Spielraum verfügen³⁰⁾ - eine Verschiebung der hintereinandergeschalteten Aktivitäten sowie eine Beeinträchtigung der ihnen zugeordneten Pufferzeiten zur Folge. Da hierdurch die Belastungssituation sämtlicher von diesen Aktivitäten beleg-

29) Existieren mehrere gleichgroße Belastungsspitzen, so ist zweckmäßigerweise zuerst die frühest gelegene zu glätten.

30) Siehe Wille, H./Gewald, K./Weber, H.D., Netzplantechnik, a.a.O., S. 46.

ten Kapazitätsarten beeinflusst wird, hat ein Glättungsverfahren alle bedeutsamen Faktorarten miteinzubeziehen.

Bei der seriellen Methode³¹⁾ werden die einzelnen Faktorarten - geordnet nach einem vorgegebenen Kriterium - sukzessiv geglättet. Eine Änderung des Belastungsprofils der Faktorart, die bereits ausgeglichen worden ist, kann bei diesem Verfahren nicht mehr zugelassen werden. Da die Freiheitsgrade bei der Glättung nachgeordneter Faktoren somit ständig abnehmen, wird mit der Entscheidung über die Reihenfolge der Belastungsglättung das Gesamtergebnis bereits in starkem Ausmaß beeinflusst. Die Festlegung dieser Reihenfolge, welche die Knappheit und Bedeutung der Faktorarten widerspiegeln soll, ist somit "eine Ermessensfrage, die nur fallweise beantwortet werden kann"³²⁾.

Die Abnahme der Freiheitsgrade - und somit die Güte der Gesamtlösung - wird im wesentlichen von der Fertigungsstruktur der Projekte determiniert. Werden die Projekte in stark konkurrierender Produktion erstellt und beanspruchen sie eine große Zahl verschiedener Kapazitätsarten, so nehmen die Freiheitsgrade wegen der engen Produktionsverbundenheit rasch ab. Herrschen jedoch entgegengesetzte Fertigungsverhältnisse, so können die Faktorarten weitgehend unabhängig voneinander - also seriell - geglättet werden.

Das parallele Ausgleichsverfahren stuft sämtliche Faktorarten als gleichkritisch und gleichbedeutend ein. Um die einzelnen Belastungsspitzen vergleichbar zu machen, werden sie auf die jeweiligen Untergrenzen $\bar{x}_j$ ³³⁾ des Faktors j bezogen. Unter sämtlichen Faktorarten wird sodann der mit der größten prozentualen Belastung als Leitfaktor gewählt.

31) Diese Methode verwendet u.a. Berbig, R./Franke, F., Netzplantechnik, a.a.O., S. 126 f.

32) Buttler, G., Netzwerkplanung, a.a.O., S. 52.

33) Vgl. Gleichung (3.9) Auf S. 153 dieser Arbeit.

Da die Glättung eines Faktors bei anderen Faktoren eine erhöhte Überbelastung einzelner Perioden verursachen kann, ist eine Zielfunktion zu entwickeln, welche die Interdependenzen der Kapazitätsbelegung miterfaßt (3.12).

$$(3.12) \quad Y \longrightarrow \text{MIN}$$

$$(3.13) \quad Y = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_{ij}}{\bar{x}_j} \right)^2 \quad \text{wobei } y_{ij} \text{ aus (3.11) folgt.}$$

Diese Zielfunktion besagt, daß die über sämtliche Faktoren und Perioden summierten Quadrate der prozentualen Belastungsüberschreitungen minimiert werden sollen.³⁴⁾ Eine Verbesserung des Zielfunktionswertes tritt nur ein, wenn der Glättungseffekt des Leitfaktors die bei allen anderen Faktoren eventuell entstandenen Ungleichgewichte überwiegt. Da nach jedem Glättungsprozeß der Leitfaktor neu gewählt wird, werden die Freiheitsgrade den einzelnen Faktoren nach dem Grade der Unstetigkeit ihres Belastungsprofils zugeteilt.³⁵⁾ Dies ist um so erwünschter, als beim Belastungsausgleich nicht eine weitgehende Glättung einiger weniger Faktoren, sondern eine befriedigende Gesamtsituation angestrebt wird. Sie ist erreicht, wenn die Zielfunktion den Wert "Null" annimmt oder bei sämtlichen Faktoren die Freiheitsgrade ausgeschöpft sind.

Das Gesamtergebnis des parallelen Modells ist gegenüber dem seriellen Verfahren um so vorteilhafter, je intensiver

34) Brankamp, der dieses Verfahren auch anwendet, benutzt als Zielfunktion die Minimierung der maximalen prozentualen Überlastungen. Siehe Brankamp, K., Terminplanungssystem, a.a.O., S. 112 ff.

35) Ist eine völlig gleichwertige Betrachtung nicht erwünscht, so kann durch unterschiedliche Toleranzwerte α_j (3.9) sowie durch Aufnahme von Gewichtungsfaktoren in die Zielfunktion jede andersartige Bedeutung der Faktoren berücksichtigt werden.

die einzelnen Projekte und deren Aktivitäten um die Faktorarten konkurrieren. Besteht hingegen eine Parallelproduktion, so führen beide Methoden in etwa zu dem gleichen Ergebnis. Das parallele Modell weist jedoch gegenüber dem seriellen Modell den Nachteil auf, daß die Belastungspläne sämtlicher Kapazitätsarten stets zugriffsbereit sein müssen, wodurch der Speicherbedarf erheblich ansteigt. Auch bewirkt die langsamere Abnahme der Freiheitsgrade eine entsprechende Erhöhung des Rechenaufwandes.

Ein Kompromiß zwischen der Ergebnisverbesserung der parallelen Methode sowie der Verringerung des Speicher- und Rechenaufwandes der seriellen Methode kann durch eine Kombination beider Methoden erzielt werden. Die Vorteile beider Verfahren bleiben um so eher erhalten, je besser es gelingt, die Kombination mit der jeweiligen Fertigungsstruktur abzustimmen. Hierzu sind jeweils die Faktoren parallel zu glätten, zwischen denen ein enger Leistungszusammenhang besteht, während die weitgehend von unterschiedlichen Projekten sowie von zeitlich unabhängigen Aktivitäten genutzten Kapazitätsarten seriell ausgeglichen werden können.³⁶⁾ Die Bedeutung der Leistungsverbundenheit wird durch die jeweilige Knappheit der betreffenden Faktorarten noch verstärkt. Eine derart entstandene Faktorhierarchie läßt sich dann in Form einer Matrix darstellen (Tab. 3).

parallel seriell		Faktorarten									
		1	2	3	4	5	6	7		m	
Glättungsstufen	1		x		x		x				
	2			x		x					
	3		x						x		
	4							x		x	

Tabelle 3

36) Ein derartiges Vorgehen wird durch eine produktbezogene Unterteilung des Fertigungsbereiches gefördert.

B. PERIODISCHES MODELL:

Kann das Kapazitätsangebot dem Belastungsprofil angepaßt werden, so ist es zweckmäßig, nicht nur die Belastungsüberschreitungen abzutragen, sondern die gesamte Kapazitätsbedarfskurve zu glätten. Zur Erreichung dieses Zieles wurde ein periodisches Modell konzipiert, in dem die einzelnen Perioden sukzessiv geglättet werden. Den Ausgangspunkt bei der Anwendung des retrograden Verfahrens bildet das Belastungsdiagramm der Abbildung 3.7.

In einem ersten Schritt wird die theoretische Untergrenze $\bar{x}_i$ der Periode i ermittelt. Diese ist im Gegensatz zu Gleichung (3.9) als gleitender Durchschnitt zu erreichen, da die bereits ausgeglichenen Perioden für die folgenden Glättungsschritte nicht mehr relevant sind.³⁷⁾

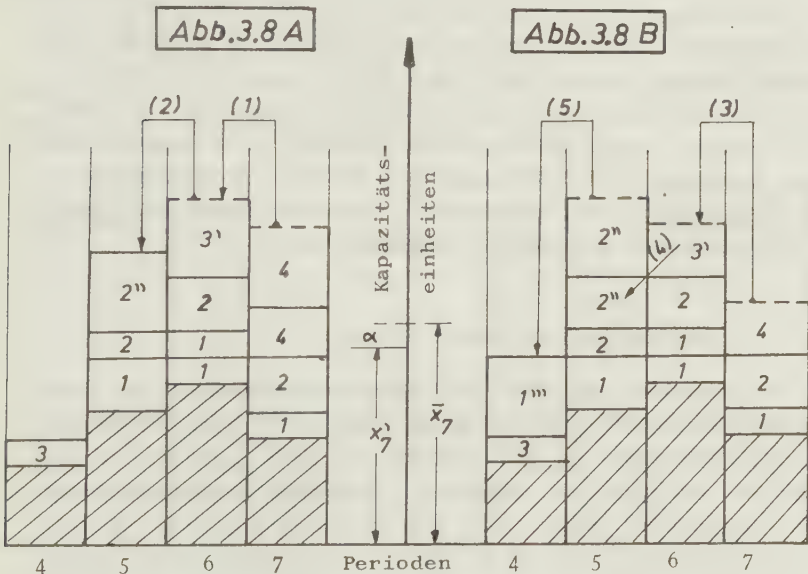
$$(3.14) \quad \bar{x}_i = \frac{1}{i} \sum_{l=1}^i x_l + \alpha_i$$

Als Zielsetzung dient - wie beim punktuellen Verfahren - das Kriterium von Burgess und Killebrew, wobei jedoch in Gleichung (3.11) der Term $\bar{x}$ durch die gleitende Untergrenze $\bar{x}_i$ ersetzt wird.

Das Verfahren beginnt nun bei der letzten Periode 8. Da hier die Belastung unter dem Durchschnittswert liegt, wird kein Verschiebungsprozeß veranlaßt (Abb. 3.7). Beim Übergang auf die folgende Periode 7 ist die neue Untergrenze $\bar{x}_7$

37) Der Beginn des Periodenindizes l muß nicht bei "1" liegen. Es ist ebenso möglich, nur eine bestimmte Zahl von Perioden in die Durchschnittsbildung miteinzubeziehen oder a priori die Perioden so in Gruppen einzuteilen, daß diese dem Anpassungsrhythmus des Kapazitätsangebotes entsprechen. Die Art der Untergrenzenberechnung steuert im wesentlichen den Modellablauf.

aus Gleichung (3.14) zu errechnen. Hier übertrifft die Belastung deutlich diesen Wert (Abb. 3.8 A), so daß durch die Verschiebungsprozesse (1) und (2) die Belastung solange variiert wird, bis der Zielfunktionswert verringert ist. Auch bei dieser neuen Belastungssituation übersteigt jedoch der Kapazitätsbedarf der Periode 7 die Untergrenze $\bar{x}_7$, wodurch eine neuerliche Verschiebung ausgelöst wird. In ihrem Verlauf wird durch die Prozesse (3), (4) und (5) ein Zustand erreicht, bei dem sowohl die Zielfunktion verbessert als auch die Periodenbelastung der Untergrenze angepaßt wird. Die Glättung findet mit dem Übergang zur Periode 6 ihre Fortsetzung.³⁸⁾



38) Zu beachten ist, daß mit dem Übergang in eine neue Periode neben der Untergrenze auch der Ausgangswert der Zielfunktion jeweils neu zu berechnen ist.

Der Einbezug mehrerer Faktorarten kann auch bei diesem periodischen Modell in serieller oder paralleler Anordnung erfolgen. Hierbei wird jeweils die Kapazitätsart mit der größten prozentualen Überbelastung als Leitfaktor gewählt. Während bei der Wahl des Leitfaktors im seriellen Verfahren sämtliche Perioden betrachtet werden und erst nach vollständiger Glättung dieses Faktors eine Neuwahl erfolgt, entscheidet bei der Leitfaktorwahl im Rahmen der parallelen Methode alleine die gerade zu glättende Periode. Nach jedem abgeschlossenen Ausgleichsvorgang innerhalb einer Periode wird der Leitfaktor der parallelen Methode neu bestimmt.

Eine Kombination der seriellen und parallelen Anordnung kann in gleicher Weise wie bei der punktuellen Methode vorgenommen werden. Jedoch auch eine Verbindung von punktuellen und periodischen Verfahren erscheint anwendbar. So können flexiblere Kapazitätsarten periodisch, nicht anpassungsfähige hingegen punktuell geglättet werden. Auch kann es zweckmäßig erscheinen, entferntere Perioden punktuell, näher liegende aber periodisch auszugleichen.

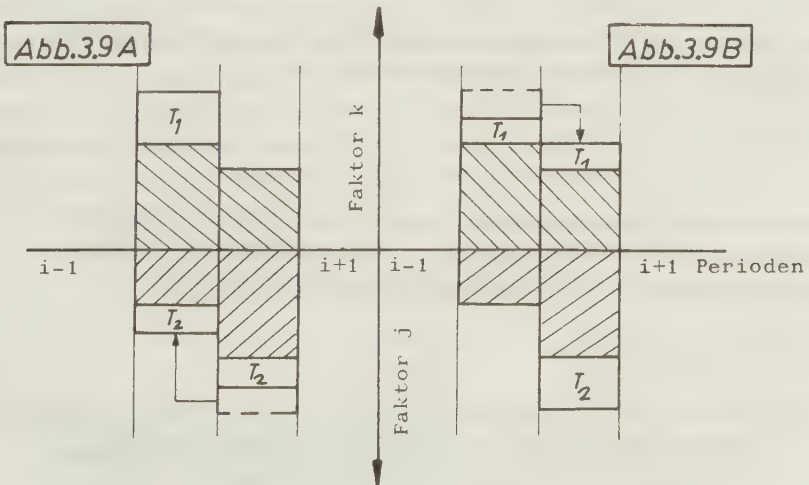
3.4.1.3. Überlappung von Aktivitäten

Sind die Möglichkeiten der Aktivitätenverschiebung zur Glättung der Faktorbelastung ausgeschöpft, so gelingt es häufig, durch eine Überlappung von Tätigkeiten neue zeitliche Freiheitsgrade zu schaffen. Durch eine Überlappung werden Tätigkeiten dergestalt verschoben, daß eine nachgeordnete Aktivität bereits begonnen wird, bevor die vorhergehende Tätigkeit vollständig abgeschlossen ist. Eine derartige Zeitverschiebung kann sowohl bei nichtkritischen als auch bei kritischen Aktivitäten vorgenommen werden.³⁹⁾

39) In der Topologie von Vorgangspfeilnetzen (CPM, Pert) erfordern Überlappungen eine Umkonstruktion, bei der die überlappenden Tätigkeiten jeweils entsprechend aufgeteilt werden. Bei Vorgangsknotennetzen (MPM, PDM, PPS) hingegen kommt die Überlappung durch die Terminierung der Koppelabstände zum Ausdruck.

Eine Überlappung wird organisatorisch erst möglich, wenn sie technologisch zulässig ist. Soll die nachgeordnete Tätigkeit nicht unterbrochen werden, so ist deren Versorgung mit derivaten Produktionsfaktoren sicherzustellen. Der Aufrechterhaltung des produktionswirtschaftlichen Gleichgewichts⁴⁰⁾ ist daher bei einer Überlappung besondere Beachtung zu schenken.

Bei der Überlappung von Tätigkeiten können zwei grundsätzliche Arten der Verschiebung unterschieden werden. Einmal kann diejenige Tätigkeit, die überlappt beliefert werden soll (T_2), in die Gegenwart verschoben werden (Passivüberlappungen). Die Termine der vorgelagerten Tätigkeiten (T_1) bleiben hierbei unverändert (Abb. 3.9 A). Im anderen Fall wird die vorgelagerte Tätigkeit in die Zukunft verschoben (Aktivüberlappung), wodurch die Termine der nachfolgenden Aktivitäten konstant bleiben (Abb. 3.9 B).



40) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 299 ff.

Jede Tätigkeit kann demnach progressiv oder retrograd verschoben werden.⁴¹⁾

Da Überlappungen zusätzliche Transport- und Organisationsprobleme verursachen, sind sie meist nur dort zweckmäßig, wo durch ihren Einsatz größere Belastungsunterschiede abgebaut werden können. Tätigkeiten, die umfangreiche Fertigungslose beinhalten und/oder deren Kapazitätsbedarf je Loseinheit relativ hoch ist, scheinen daher für Überlappungen besonders geeignet.

Zusätzliche Organisationsmaßnahmen werden hauptsächlich für eine exaktere Terminkontrolle benötigt, da sich Verzögerungen der vorgelagerten Produktionsstufen unmittelbar fortpflanzen. Definiert man den Überlappingsgrad zu (3.15),

$$(3.15) \quad \ddot{U} = \frac{\text{Überlappingszeit}}{\text{minimale Belegungsdauer der überlappten Tätigkeiten}}$$

so nehmen die Transportbewegungen N_T mit wachsendem Überlappingsgrad überproportional zu (3.16).

$$(3.16) \quad N_T = f \left(\frac{1}{1-\ddot{U}} \right)$$

Die hieraus resultierenden Kostenkonsequenzen schmälern wiederum die Gewinnsteigerung, die aufgrund der Glättungswirkung einer Überlappungsanordnung erzielbar ist.

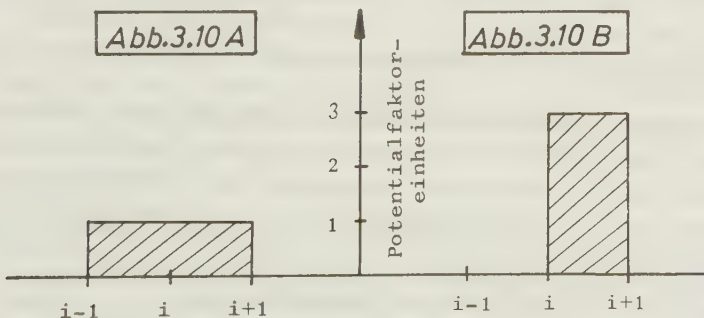
41) Hierbei ist zu beachten, daß durch eine (Aktiv-)Passivverschiebung jeweils neue Pufferzeiten für eine retrograde (progressive) Verschiebung der nachfolgenden (vorhergehenden) Tätigkeiten entstehen.

3.4.2. Änderungen des technologischen Tätigkeitsablaufes

Ergibt die organisatorische Gestaltung der Kapazitätsbelegung kein befriedigendes Belastungsprofil, so besteht die Möglichkeit, durch Eingriffe in den Tätigkeitsablauf die Verteilung des Kapazitätsbedarfes zu beeinflussen. Die Variationsmöglichkeiten, die sich in diesem Abschnitt ergeben, werden im wesentlichen durch die in den Aktivitäten zusammengefaßten Anordnungssysteme und Typen⁴²⁾ der Basisprozesse bestimmt. Änderungen des technologischen Aktivitätsvollzuges können dann wiederum neue zeitliche Freiheitsgrade für eine anschließende Umgestaltung der organisatorischen Reihenfolge schaffen.

3.4.2.1. Änderung der Tätigkeitsdauer

Der Zeitraum, der für den Vollzug einer Tätigkeit angesetzt wird, beeinflußt einerseits den Termin und die Dauer der Potentialfaktorbelegung, andererseits aber auch die Zahl der erforderlichen Potentialfaktoreinheiten. So bewirkt in Abbildung 3.10 die Verkürzung der Durchführungszeit zwar eine Entlastung des Zeitraumes $(i-1, i)$, aber gleichzeitig eine überproportionale Mehrbelastung des Zeitraumes $(i, i+1)$.



42) Fäßler, K./Reichwald, R., Fertigungswirtschaft, a.a.O., S. 336.

Eine derartige Variation der Aktivitätsdauer kann durch die Wahl der Prozeßzeiten, die Festlegung der Wiederholungsfunktion sowie durch die Anordnung der Basisprozesse erreicht werden.⁴³⁾

Die Festlegung der Prozeßzeit ist bei zeitvariablen Basisprozessen für den Verbrauch von Faktoren mitentscheidend⁴⁴⁾, so daß auf dem Fundament des Wirtschaftlichkeitskriteriums ein jeweils tätigkeitsbezogenes Optimum abgeleitet werden kann. Das Streben nach gesamtbetrieblicher Kostenminimierung macht jedoch häufig ein Abgehen von diesen isoliert errechneten Optima erforderlich. Da die tätigkeitsspezifischen Kostensteigerungen einer derartigen Zeitabweichung um so geringer ausfallen, je breiter die optimalen Nutzungszonen⁴⁵⁾ der beanspruchten Potentialfaktoren sind, wird man sich für Ausgleichsmaßnahmen vornehmlich derartiger Basisprozesse bedienen.

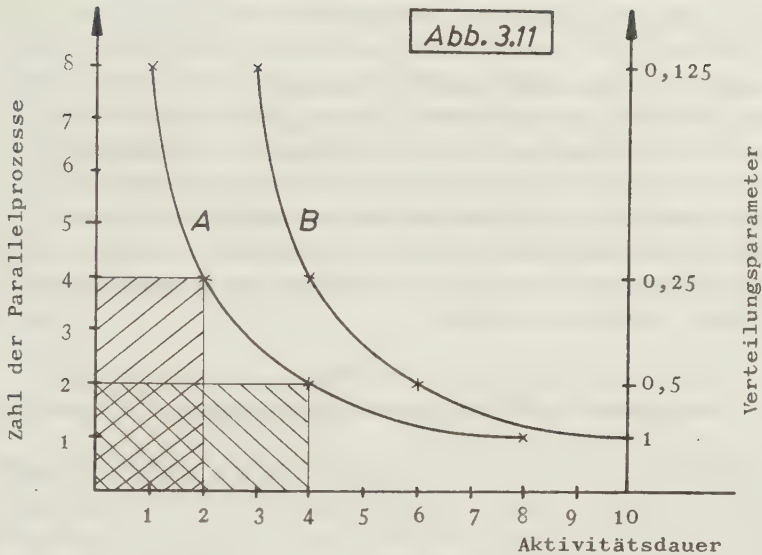
Die Ausgleichswirkungen der Wiederholungsfunktion werden im wesentlichen über das prozessuale Outputniveau und die zugeordneten Verteilungsparameter gesteuert. Bei der Festlegung des Outputniveaus der einzelnen Basisprozesse entstehen hierbei ähnliche Probleme wie bei der Ableitung der Prozeßzeit. Die Anzahl dieser einzelnen Prozesse, die zur Erstellung einer konkreten Zwischenproduktmenge benötigt werden, und somit die Dauer der Potentialfaktorbelegung, wird dann durch die Verteilungsparameter bestimmt.

Abbildung 3.11 stellt die funktionale Abhängigkeit zwischen der Aktivitätsdauer und der Anzahl parallel durchgeführter Basisprozesse bei konstanter Prozeßzeit und gegebenem Outputniveau dar. Hierbei spiegelt die Kurve A die Situation

43) Vgl. Kap. 3.2.1., S. 139 dieser Arbeit.

44) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 238 ff.

45) Vgl. Gutenberg, E., Produktion, a.a.O., S. 369.



bei rüstzeitlosen Basisprozessen wider. Da die Zeit-Faktor-Produkte stets gleich groß bleiben⁴⁶⁾, eignet sich dieser Typ besonders für Ausgleichsmaßnahmen. Bei Kurve B hingegen, welche Rüstzeiten enthält, werden die Faktor-Zeit-Produkte mit kürzerer Aktivitätsdauer stets größer, so daß Zeitverkürzungen nur mit einem erhöhten Kapazitätsbedarf erkaufte werden können.

Beinhalten die Tätigkeiten unterschiedliche Basisprozesse, so bestimmen die Typen (C, D, C und D) der Anordnungsbeziehungen⁴⁷⁾ sowie ihre interne Terminierung die Durchführungsdauer der Aktivität.

46) Die Kurve, die nur die Verbindungslinie diskreter Punkte darstellt, ist somit der Ast einer gleichseitigen Hyperbel, nicht eine Gerade, wie Wagner darstellt. Vgl. Wagner, G., Netzplantechnik, a.a.O., S. 82.

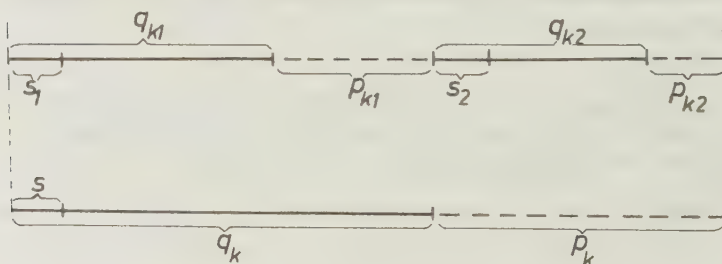
47) Vgl. Kap. 3.2.1., S. 139 dieser Arbeit.

3.4.2.2. Unterbrechnung von Tätigkeiten

Ist eine Unterbrechnung nur an einigen genau definierten Punkten des Aktivitätsablaufes zulässig und ändert sich hierdurch der technologische Gesamtablauf einer Tätigkeit nicht, so kann diese Aktivität bereits zu Beginn der Planung in ihre Teilabschnitte zerlegt werden, wobei diese dann als selbständige Aktivitäten einzuplanen sind. Bei der Kapazitätsglättung können diese Tätigkeiten im Rahmen ihrer Spielräume verschoben werden.

Diese Methode ist nicht mehr anwendbar, wenn jede Unterbrechnung einen zusätzlichen sekundären Basisprozeß (z.B. Rüstvorgänge) verursacht oder wenn die Unterbrechnung an beinahe beliebig vielen Stellen vorgenommen werden kann. Bei der Zerlegung muß dann nämlich sichergestellt sein, daß die Zeitdauer von Beginn des ersten bis zur Vollendung des letzten Aktivitätsteiles die ursprüngliche Aktivitätsdauer q_k und deren verfügbare Pufferzeit p_k nicht überschreitet. Zwischen den einzelnen Tätigkeitsteilen i werden die Pufferzeiten p_{ki} so verteilt, daß das Belastungsprofil der zu glättenden Kapazitätsart möglichst ausgeglichen ist. Hierbei ist zu beachten, daß die verteilbaren Pufferzeiten p_{ki} insgesamt um die Summe der zusätzlichen sekundären Prozeßzeiten geringer ist als die ursprünglich verfügbare Pufferzeit p_k (Abb. 3.12).

Abb. 3.12



Die Anzahl der Unterbrechungen bewirkt wegen der zusätzlich erforderlichen Sekundärprozesse sowohl eine Zunahme des Faktorverzehrs als auch des Kapazitätsbedarfes. Die hieraus resultierenden Kosten beeinträchtigen natürlich den kostenmindernden Glättungseffekt, der durch die technologische Spaltbarkeit, die Länge der verfügbaren Pufferzeit und die Höhe des Nutzzeitbedarfes bestimmt wird. Die Relation dieser positiven und negativen Kostenreagibilität ist das Kennzeichen der ökonomischen Teilungsfähigkeit der Aktivitäten.

3.4.2.3. Verwendung alternativer Faktorkombinationen

Da Möglichkeiten zur Anwendung alternativer Faktorkombinationen nur innerhalb der technologischen Freiheitsgrade der Produktion bestehen, ist es zweckmäßig, diese als Kriterium für die Unterteilung der produktionstheoretischen Basisprozesse heranzuziehen.

Bei limitationalen Basisprozessen, die zur Erzeugung eines gegebenen Outputs in einer bestimmten Zeit ein genau definiertes Faktoreinsatzverhältnis benötigen, ist die Verwendung alternativer Kombinationsverhältnisse ex definitione nicht zulässig. Substitutionale Prozesse hingegen sind dadurch gekennzeichnet, daß bei der Produktion bestimmter Zwischenproduktmengen in einer gegebenen Zeit die Belastung der beteiligten Potentialfaktoren innerhalb bestimmter Grenzen variiert werden kann.⁴⁸⁾ Diese Variationsmöglichkeiten kommen in der Grenzrate der Substitution und im Grad der Substituierbarkeit zum Ausdruck.

48) Vgl. hierzu Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 242. Bei den folgenden Ausführungen wird unterstellt, daß eine Belastungsänderung immer auch eine Änderung des Kapazitätsbedarfes verursacht.

Abb.3.13 A

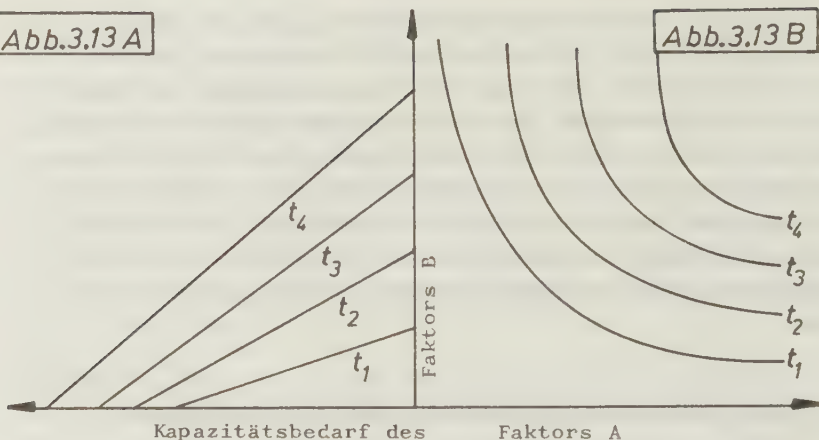


Abb.3.13 B

In Abbildung 3.13 A - dem Fall vollkommener Substituierbarkeit - bleibt die Grenzrate der Substitution über dem gesamten Variationsbereich konstant. Entspricht die Austauschrate der Faktoren dem reziproken Kostenverhältnis ihres Verzehrs, so verursacht eine Potentialfaktorvariation keine zusätzlichen Kosten. Je stärker jedoch dieses Kostenverhältnis hiervon abweicht, desto schwerwiegender sind die Kostensteigerungen aufgrund dieser Faktorvariation.⁴⁹⁾

Im Falle der unvollkommenen Substituierbarkeit (Abb. 3.13 B) ist die Austauschbarkeit und somit der hieraus resultierende Glättungsbereich von vornherein begrenzt. Da zudem die Grenzrate der Substitution stetig⁵⁰⁾ abnimmt, verursacht jede Abweichung vom optimalen Faktorverhältnis zu-

49) Ein abweichendes Kostenverhältnis macht (im 2-Faktoren-Modell) immer die ausschließliche Verwendung eines Faktors zum prozeßbezogenen Optimum. Vgl. Müller, J.H., Produktionstheorie, a.a.O., S. 86.

50) Sind nur einige diskrete Faktorverhältnisse zulässig, so schrumpft die Kurve auf einzelne Punkte zusammen.

sätzliche Kosten. Diese Kostensteigerung fällt um so größer aus, je stärker die Komplementarität der Faktoren ist.

Wird zugleich mit dem Faktorverhältnis auch die Prozeßzeit geändert, so bewirkt dies den Übergang auf eine neue Austausch-Isoquante, wobei mit zunehmender Zeitverkürzung ($t_1 \rightarrow t_4$) der Kapazitätsbedarf der einzelnen Faktoren unterschiedlich stark zunehmen kann.

Da in der maschinenintensiven Fertigung limitationale Basisprozesse vorherrschend sein dürfen, sind die substitutionalen Glättungsmöglichkeiten meist sehr beschränkt. Häufig existieren jedoch für die Erstellung von Zwischenprodukten mehrere limitationale Verfahren, die alternativ oder kombinatorisch eingesetzt werden können. Durch eine Aufteilung der Zwischenproduktmenge auf diese verschiedenartigen Basisprozesse - gesteuert über die Verteilungsparameter - gelingt somit trotz limitationaler Prozeßarten eine Variation der Potentialfaktorbelastung, wobei sich die Gesamtkosten bei unverbundenen Prozeßarten aus dem gewogenen Durchschnitt der einzelnen Kostenniveaus ergeben.⁵¹⁾ Diese Kosten werden erhöht, wenn der Einsatz unterschiedlicher Produktionsprozesse zusätzliche sekundäre Basisprozesse erfordert und hierdurch Faktorverzehr und Kapazitätsbedarf weiter vergrößert werden.⁵²⁾

Neben derartigen Kostenwirkungen können zusätzliche Probleme den Einsatz dieses Ausgleichsinstrumentes hemmen. So darf die Aktivitätsdauer bei Anwendung der fertigungstechnischen Alternative die ursprüngliche Tätigkeitsdauer höchstens um

51) Vgl. Miller, J.H., Produktionstheorie, a.a.O., S. 95; Schneider, E., Einführung in die Wirtschaftstheorie, Teil II, a.a.O., S. 224.

52) Vgl. hierzu: Kilger, W., Optimale Verfahrenswahl bei gegebenen Kapazitäten, in: Moxter, A. u.a. (Hrsg.), Produktionstheorie und Produktionsplanung, Festschrift für Karl Hax, Köln und Opladen 1966, S. 155-190.

deren verfügbaren Spielraum überschreiten. Ist zudem der Output der einzelnen Verfahren nicht homogen, so kann dies eine andersartige Weiterverarbeitung erfordern. Schließlich sei noch vermerkt, daß die Aufteilung einer Zwischenproduktmenge auf unterschiedliche Fertigungsverfahren zusätzlichen Organisationsaufwand für Terminkontrollen und Transportbewegungen zur Folge haben kann.

Die Anwendung alternativer Fertigungsverfahren zur Glättung des Kapazitätsbedarfes scheint daher nur dort erfolgreich zu sein, wo mittels qualitativ und kostenmäßig gleichwertiger Verfahren eine möglichst vollständige Umverteilung eines Bearbeitungsauftrages auf unterschiedlich belastete Potentialfaktoren gelingt.

3.4.2.4. Externe Produktionsverlagerung

Während die Anwendung verschiedenartiger Fertigungsverfahren einer internen Verlagerung der Faktorbelastung gleichkommt, werden bei einer externen Produktionsverlagerung Fertigungsaufträge an andere Betriebe vergeben oder vollständige Zwischenerzeugnisse von ihnen bezogen.

Die Vergabe einzelner Tätigkeiten (Lohnfabrikation) setzt voraus, daß in der marktlichen Umwelt Unternehmen existieren, die über die erforderlichen freien Kapazitäten verfügen. Da jedoch die Lieferzeit wegen zusätzlicher Transport- und Dispositionszeiten häufig einen längeren Zeitraum beansprucht als die eigentliche Aktivitätsdauer, stellt die Lohnfabrikation meist nur ein längerfristiges Ausgleichsinstrument dar. Kostenargumente und betriebspolitische Entscheidungen hemmen zudem manchmal ihren Einsatz.

In der Formalstruktur der Produktionsfunktion kann die Lohnfabrikation als eigenständiger Basisprozeß aufgefaßt werden, der zwar eine Prozeßzeit, aber keine Nutzzeit beansprucht. Verzehrt wird die fremdbezogene Bearbeitungsleistung.

Der Fremdbezug von Erzeugnissen unterscheidet sich von der Lohnfabrikation insofern, als hierdurch nicht nur einige weiterverarbeitende Tätigkeiten, sondern vollständige Zwischenprodukte vom Markt bezogen werden. Da beim Fremdbezug somit die gesamte Tätigkeitskette entfällt, die zur Erstellung der Zwischenprodukte erforderlich ist, kann dieses Instrument zur Belastungsglättung einzelner Faktoren meist nicht so gezielt eingesetzt werden wie die Lohnfabrikation. Besteht für dieses Zwischenerzeugnis noch kein Markt, so ist der Fremdbezug zudem meist nur sehr langfristig anwendbar. In der Produktionsfunktion wird das fremdbezogene Erzeugnis als originärer Produktionsfaktor betrachtet.⁵³⁾

3.4.3. Verschiebung der Auftragsendtermine

Die bisherigen Untersuchungen beschränkten sich darauf, das aus einem fest vorgegebenen Fertigungsprogramm resultierende Belastungsprofil der einzelnen Faktoren weitestgehend zu glätten. Führen derartige Ausgleichsschritte zu keinem befriedigenden Ergebnis, so besteht die "ultima ratio" häufig in einer Änderung der Endtermine.⁵⁴⁾

Entscheidend für die Freiheitsgrade und die Kosten der Terminverschiebung ist die Absatzorientierung des Unternehmens. Bei auftragsorientierten Betrieben sind die Lieferbedingungen weitgehend durch Verträge fixiert, in denen eventuelle Konventionalstrafen und Kaufrücktrittsrechte festgelegt sind. Bei der Bewertung dieser Verträge ist auch die Bedeutung der Kunden sowie die langfristige Auswirkung einer ge-

53) Vgl. hierzu Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 262 f.

54) Dieses Vorgehen läßt sich auch bei unsicheren Absatzprogrammen systematisch anwenden. In diesem Fall kann durch parametrische Variation ein Produktionsprogramm fixiert werden, das eine gleichmäßige Auslastung der Kapazitäten gewährleistet.

leisteten Termintreue zu berücksichtigen. Die Schwierigkeiten nehmen zu, wenn die Folgen unterschiedlicher Angebots-
termine prognostiziert werden sollen, da hier neben der direkten Kaufentscheidung auch die Auswirkungen auf absatz-
politische Instrumente (z.B. Preise, Lieferkonditionen usw.) zu erfassen sind.

Bei marktorientierten Unternehmen können Terminverschiebungen die Lieferbereitschaft beeinträchtigen, was sowohl eine Gewinnminderung als auch Gefährdung der Marktstellung verursachen kann. Die Aufteilung eines Fertigungsloses und zeitliche Hintereinanderschaltung dieser Losfragmente führt hier oft zu einer Lösung.

3.5. Anpassungsmöglichkeiten des Kapazitätsangebotes

Das Kapazitätsangebot stellt keine zeitlich unveränderbare Größe dar. Einerseits unterliegt es nämlich ungeplanten Schwankungen, die durch Maschinenausfälle, Fluktuation, Arbeitszeitausfall und dergleichen verursacht werden, andererseits kann es im Rahmen eines planmäßigen Anpassungsprozesses dem Kapazitätsbedarf angeglichen werden. Aus der Definition der Zeitraumkapazität⁵⁵⁾ können die hierzu verfügbaren Anpassungsinstrumente abgeleitet werden: aus der Leistungsgeschwindigkeit resultiert die intensitätsmäßige Anpassung, aus dem Kapazitätsquerschnitt die quantitative und aus der Betriebszeit pro Zeitraum die zeitliche.

3.5.1. Die intensitätsmäßige und die zeitliche Anpassung

Der Begriff der intensitätsmäßigen Anpassung wird definiert als "unterschiedliche Inanspruchnahme der produktiven Fak-

55) Vgl. S. 2 dieser Arbeit.

toren"⁵⁶⁾. Insofern stellt die Intensitätsanpassung eine Determinante der Kapazitätsausnutzung dar. Sie kommt durch eine Änderung der Prozeßzeit zum Ausdruck und ist demgemäß bereits unter den Instrumenten des Kapazitätsbedarfes analysiert worden.

Diese Variation der Prozeßzeit wird jedoch durch die maximale Leistungsfähigkeit des Potentialfaktors begrenzt. Gelingt eine Erhöhung dieser maximalen Leistungsfähigkeit, so kommt dies einer intensitätsmäßigen Anpassung der Kapazität gleich. Diese Anpassungsform kann planmäßig fast nur auf maschinelle Verfahren übertragen werden. Zwar ist auch die menschliche Leistungsbereitschaft in großen Bereichen variierbar, jedoch erscheint es fraglich, ob es durch eine systematische Gestaltung der Anreiz- und Beitragsstruktur möglich ist, die Leistungsfähigkeit in dem erforderlichen Ausmaß derart stabil und gezielt zu steuern, daß sie bei der Planung des Kapazitätsangebotes explizit im voraus erfaßt werden kann. Vielmehr wird wohl eine Erhöhung des Leistungsgrades meist erst nachträglich registriert und dann auf zukünftige Planung übertragen.⁵⁷⁾

Die zeitliche Anpassung des Kapazitätsangebotes äußert sich in einer Variation der Betriebszeit, was in der formalen Struktur der Produktionsfunktion eine Änderung der maximalen periodenbezogenen Potentialfaktornutzzeit bewirkt. Der praktische Vollzug dieser Anpassungsform erfolgt durch die Einführung von Überstunden oder Kurzarbeit sowie von Feier- oder Zusatzschichten. Der Einsatz oder Wegfall einer vollständigen Schicht ist jedoch insofern keine zeitliche Anpassung mehr, als sich hier der Personalstand des Unternehmens verändert.⁵⁸⁾

56) Gutenberg, E., Produktion, a.a.O., S. 361.

57) Vgl. Lipka, A., Organisation der Datenverarbeitung für die Fertigung, a.a.O., S. 65.

58) Vgl. Lassmann, G., Die Produktionsfunktion und ihre Bedeutung für die betriebswirtschaftliche Kostentheorie, Köln und Opladen 1958, S. 58.

Der Vorteil der zeitlichen Anpassung liegt vor allem in der hohen Flexibilität, da die Betriebszeit relativ kurzfristig in beiden Richtungen geändert werden kann. Allerdings sind dem Ausmaß dieser Änderungen durch arbeitsrechtliche Vorschriften und durch den Leistungswillen des Personals Grenzen gesetzt. Innerhalb dieses Bereiches können zudem Kostenargumente eine engere ökonomische Beschränkung erwirken.⁵⁹⁾ Eine Erhöhung der Arbeitszeit kann bei den Tätigkeiten zu einer Terminbeschleunigung führen, zwischen deren frühest möglichem Beginn- und spätest zulässigem Endzeitpunkt noch arbeitsfreie Zeit enthalten ist. Je vollständiger daher dieser maximale Durchführungszeitraum bei den einzelnen Aktivitäten bereits durch Arbeitszeit ausgefüllt ist, desto geringer sind die Möglichkeiten, durch Betriebszeitvariationen den Kapazitätsbedarf zu befriedigen.

3.5.2. Die quantitative Anpassung

Diese dritte Determinante des Kapazitätsangebotes umfaßt im weitesten Sinne die Entscheidungen über den Einsatz der Potentialfaktoren. Hierunter fallen zum einen sämtliche Entscheidungen über die Besitzverschaffung von Potentialfaktoren, durch die deren art- und mengenmäßiger Bestand verändert werden soll. Zum anderen beinhaltet diese Anpassungsform auch die Zuordnung von Sachfaktoren und Personal, da meist erst durch eine derartige Verbindung leistungsfähige Kapazitätseinheiten entstehen.⁶⁰⁾

59) Vgl. Kilger, W., Die optimale Planung kapazitätserhöhender Mehrarbeitszeiten ..., a.a.O., S. 776 ff.

60) Gutenberg bezeichnet diese Situation in seiner Behandlung der quantitativen Anpassung als "Fall A" und "Fall B". Vgl. derselbe, Produktion, a.a.O., S. 380.

3.5.2.1. Die Veränderung des Potentialfaktorbestandes

Die Veränderung des Potentialfaktorbestandes - stets gekoppelt mit einem Investitionsentscheidungsprozeß - führt nur dann zu einer Erhöhung des Kapazitätsangebotes, wenn hierdurch eine neue nutzungsfähige Einheit entsteht. Dies ist aber erst dann der Fall, wenn alle benötigten Betriebsmittel sowie sämtliche erforderlichen Arbeitskräfte vorhanden sind, um diejenigen Arbeitsprozesse durchführen zu können, zu deren Verrichtung sie bestimmt sind. Die Vergrößerung des sachlichen Potentialfaktorbestandes ist daher häufig mit einer Beschaffung und Ausbildung des Bedienungs- und/oder Kontrollpersonals verbunden.

Die Änderung der Kapazität durch die Schaffung neuer nutzungsfähiger Einheiten erfordert daher häufig einen längeren Dispositionszeitraum. Da zudem eine Veräußerung der Sachfaktoren meist nicht unbeträchtliche Risiken birgt, ist ihr Wirkungszeitraum ebenfalls als relativ lang anzusehen. Die quantitative Anpassung eignet sich daher in der Regel nur für eine längerfristige und längerdauernde Kapazitätsvariation, so daß sie vorwiegend der Grobabstimmung von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot dient. Diese Eignung wird noch dadurch verstärkt, daß der Einsatz neuer Potentialfaktoren jeweils eine sprunghafte Kapazitätsveränderung verursacht. Je größer hierbei das Verhältnis der Kapazität eines Potentialfaktors zum betreffenden Kapazitätsbedarf ist, desto schwieriger gestaltet sich die Annäherung.

Wird jede nutzungsfähige Einheit als eigenständiger Potentialfaktor aufgefaßt, so ändert sich durch diese Art der quantitativen Anpassung die Zahl der Kapazitätsrestriktionen.⁶¹⁾

61) Nur bei einer Gruppenbetrachtung sowie bei der Einführung einer zusätzlichen Schicht ändert sich die maximale Periodennutzzeit.

3.5.2.2. Die Variation der Personalzuordnung

Dieses Zuordnungsproblem ist dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der zu besetzenden Arbeitsplätze stets größer ist als die Zahl der vorhandenen Arbeitskräfte, so daß immer einige Potentialfaktoren nicht besetzt und somit nicht nutzungsfähig sind. Das vorhandene Personal ist dann zu jedem Zeitpunkt so zu verteilen, daß für alle Faktorarten eine möglichst große Übereinstimmung von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot erreicht wird.⁶²⁾

Um die Modellbetrachtung zu vereinfachen, soll der Faktor Arbeit zunächst als homogen angenommen werden. Ferner wird eine konstante Austauschperiode (z.B. 1 Tag) eingeführt, so daß eine kleinste Verlagerungsgröße (z.B. 1-Mann-Tag) definiert ist. In der formalen Struktur der Produktionsfunktion ist dann die maximale periodenbezogene Faktornutzzeit $T_{it,max}$ eine Funktion der jeweiligen Arbeitsplatzbesetzung.

Erfaßt man in dem Personalkoeffizienten α_i die Zahl der Arbeitskräfte, die zur Inbetriebnahme einer Einheit der Faktorart i erforderlich sind, so zeigt das Verhältnis dieser Personalkoeffizienten, in welchem Umfang eine Nutzzeitminderung des Faktors i (Δt_i) zu einer Erhöhung der Nutzzeit des Faktors j (Δt_j) führt. Diese Rate sei als Transformationsverhältnis der Personalintensität bezeichnet (3.17).

$$(3.17) \quad \Delta t_i = \frac{\alpha_j}{\alpha_i} \Delta t_j \quad \text{mit } t_j = \text{Zeitdauer der Tauschperiode (z.B. 1 Tag)}$$

Innerhalb jeder Periode ist nun zu gewährleisten, daß für sämtliche n Faktorarten die Zahl der verfügbaren Arbeits-

62) Vgl. hierzu auch Hammer, H., Integrierte Produktionssteuerung mit Modularprogrammen, Wiesbaden 1970, S. 141 f.

plätze $\alpha_i \cdot z_{i,\max}$ nicht überschritten wird (3.18).

$$(3.18) \quad \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{\alpha_j}{\alpha_i} \Delta z_{j \rightarrow i, t} \leq z_{i,\max} - z_{i,t-1} \quad \text{wobei}$$

$z_{j \rightarrow i, t}$ = Zahl der Faktoreinheiten j , die in Periode t zugunsten der Faktorart i stillgelegt worden sind.

Die gewinnmaximale Personalverteilung wäre erreicht, wenn die Transformationsraten der Personalintensitäten dem Verhältnis der auf den Potentialfaktoren erzielten Deckungsbeiträgen entsprechen würden. Diese Zielsetzung ist jedoch nur für den speziellen Fall der einstufigen Fertigung operational. Für die mehrstufige Produktion wird daher die Minimierung der Summe der quadrierten Abweichungen zwischen dem Kapazitätsbedarf (x_{it}) und dem Kapazitätsangebot (z_{it}) der einzelnen Faktorarten i vorgeschlagen (3.19).

$$(3.19) \quad \sum_{i=1}^n (z_{it} - x_{it})^2 \rightarrow \text{MIN}$$

Da sowohl das Personallimit ($P_{t,\max}$) als auch das verfügbare Nutzungspotential $z_{i,\max}$ nicht überschritten werden darf, sind die Bedingungen (3.20) und (3.21) zu erfüllen.

$$(3.20) \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot z_{it} \leq P_{t,\max}$$

$$(3.21) \quad z_{it} \leq z_{i,\max} \quad \text{mit } z_{it}, y_{it} \text{ ganzzahlig}$$

Dieses Modell, das mittels der nichtlinearen Planungsrechnung zu lösen wäre, ist nur für die Perioden relevant, in denen das Personallimit nicht zur Deckung des Bedarfes aus-

reicht. In allen anderen Perioden ist lediglich die Bedingung (3.22) einzuhalten.

$$(3.22) \quad z_{it} \geq y_{it}$$

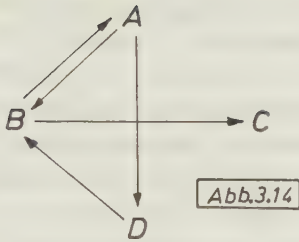
Die bisher unterstellte Homogenitätsbedingung des Faktors Arbeit wird nur in wenigen Fällen näherungsweise erfüllt sein. Die Personalzuordnung hat vielmehr von Individuen auszugehen, von denen jedes über spezielle Eignungs- und Leistungskoeffizienten verfügt. Die mit der Ermittlung dieser Eignungsstruktur verbundene Problematik sowie die weitere Komplizierung eines hierauf basierenden Modellansatzes⁶³⁾ lassen es jedoch geraten erscheinen, zugunsten der Operationalität die Inhomogenität des Faktors Arbeit nur in pauschaler Form in das Modell einzubeziehen.

Hierzu werden jeweils homogene Arbeitsplatzgruppen gebildet, zwischen denen ein interner Personalausgleich durchführbar ist. Eine derartige Gruppe läßt sich dann als ein vollständiges Netz⁶⁴⁾ von Austauschbeziehungen symbolisieren. Nur wenn zwischen diesen Partnerschaftsgruppen⁶⁵⁾ ein längerfristiges Ungleichgewicht besteht, soll ein externer Personalausgleich vorgenommen werden. Zu diesem Zweck ist von vornherein festzulegen, zwischen welchen Gruppen ein derartiger Austausch zulässig ist (Abb. 3.14). Um zu ver-

63) In der Literatur wurden Modelle entwickelt, welche die Eignungsstruktur explizit enthalten. Jedoch erscheint es wegen der enormen Bewertungsproblematik und der mangelnden Stabilität dieser Strukturen fraglich, ob die hier unterstellte Genauigkeit in der Realität erfaßbar ist. Vgl. u.a. Gutenberg, E., Produktion, a.a.O., S.187; Domsch, M./Gabelin, Th., Der Aufbau eines Systems zur Personaleinsatzplanung, ZfB 1971 (41), S. 59 ff.; Kossebel, H., Die Behandlung mehrfach qualifizierter Arbeitskräfte bei der Personalplanung, ZfB 1971 (41), S. 167 ff.

64) Vgl. Müller-Merbach, Operations Research, a.a.O., S.238.

65) Hammer, H., Integrierte Produktionssteuerung ..., a.a.O., S. 145.



hindern, daß auf indirektem Wege Personalverschiebungen stattfinden, die direkt nicht zulässig sind (z.B. von A über B nach C, obwohl von A nach C unzulässig ist), werden die Arbeitskräfte jeweils an ihrem Stammarbeitsplatz registriert.

Die Möglichkeit mehrstufiger Verschiebungen erfordert jedoch eine dynamische Planungsrechnung, wobei unzulässige Alternativen⁶⁶⁾ durch Nebenbedingungen ausgeschlossen werden.

Eine weitere Verfeinerung erfährt das Modell, wenn eine Mehrstellenarbeit⁶⁷⁾ an heterogenen Arbeitsplätzen miteinbezogen werden soll. Während sich eine Mehrstellenarbeit an homogenen Arbeitsplätzen in einem veränderten Transformationsverhältnis der Personalintensitäten niederschlägt, ist bei heterogenen Arbeitsplätzen die Nutzzeitänderung unterschiedlicher Faktorarten durch neue Funktionen zu erfassen.

Die Konzeption dieses Modells geht von den unterschiedlichen Anforderungsarten der einzelnen Arbeitsplätze aus, wobei implizit unterstellt wird, daß diesen jeweiligen Anforderungskomplexen die benötigten Eignungskomplexe zugeordnet sind. Insofern wird vom einzelnen Individuum abstrahiert. Der Realitätsbezug des Modells ist daher nur gewahrt, wenn die Mitarbeiter so vielschichtig ausgebildet werden, daß sie für alle durch Tauschbeziehungen verbundenen Arbeitsplätze geeignet sind. Die Förderung des Verantwortungsbewußtseins für die von wechselnden Personen benutzten Betriebsmittel muß diese Ausbildung ergänzen.

66) Hierzu zählen auch Zyklusverschiebungen (z.B. $A \rightarrow D$, $D \rightarrow B$, $B \rightarrow A$).

67) Vgl. Dellmann, K., Die Bestimmung optimaler Bedienungssysteme bei Mehrstellenarbeit, Köln-Berlin-Bonn-München 1971, S. 13.

3.6. Die Ermittlung eines optimalen Anpassungsmix von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot

Die Berechnung eines optimalen Zustandes kann nur auf der Basis eines Entscheidungsmodelles erfolgen. Die Netzplantechnik ist hierzu nicht in der Lage, da sie lediglich (als Erklärungsmodell) die Auswirkungen autonomer Parameteränderungen ableiten kann. Will man den Zeit- und Strukturzusammenhang der Projekte bei der Kapazitätsdisposition wahren, so macht dies eine Kombination von Entscheidungsmodell und Netzplantechnik erforderlich.

Die Konzeption eines derartigen Entscheidungsmodelles ist selbst wieder das Ergebnis komplexer Entscheidungsprozesse, in deren Verlauf Struktur und Lösungsprozeß des Modelles festzulegen sind.⁶⁸⁾ Da die Bedeutung der Ausgleichsinstrumente sowie Menge und Gehalt der verfügbaren Informationen von der konkreten organisatorischen und technologischen Produktionsstruktur des Betriebes bestimmt werden, sei im folgenden die Formulierung einer Zielfunktion sowie das Konzept des zugehörigen Lösungsverfahrens lediglich umrißartig dargestellt.

3.6.1. Die Formulierung einer Zielfunktion

Das Ziel der Kapazitätsplanung soll darin bestehen, ein gegebenes Produktionsprogramm mit möglichst geringen Kosten zu realisieren. Die Kosten der Belastungsglättung (K_B), die Kosten der Kapazitätsanpassung (K_A) sowie die Planungskosten (K_P) sind daher so abzustimmen, daß ihre Summe ein Minimum ergibt (3.23).

$$(3.23) \quad K = K_B + K_A + K_P \longrightarrow \text{MIN}$$

68) Vgl. hierzu den Exkurs in Teil I dieser Arbeit, S. 122 ff., besonders S. 125.

Um diese Anpassungskosten als Funktion des Belastungsprofils darstellen zu können, gilt es einen Maßstab zu finden, der die Stetigkeit der Faktorbelastung widerspiegelt. Zu diesem Zweck wird hier ein Glättungskoeffizient G_i dargestellt, der als Indikator für die Ausgeglichenheit des Belastungsprofils angesehen werden kann (3.24).

$$(3.24) \quad G_i = \left[\frac{\sum_{t=s}^m x_{it}}{\sqrt{(m-s) \cdot \sum_{t=s}^m x_{it}^2}} \right]^2$$

wobei x_{it} = Belastung des Faktors i in der Periode t

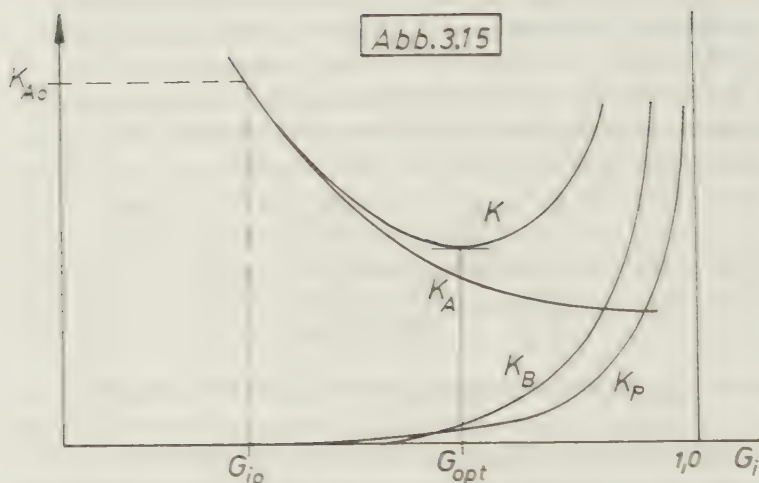
Dieser Glättungsfaktor G_i nimmt für den Idealfall einer vollkommen gleichmäßigen Belastung den Wert "1" an, während er mit zunehmender Unstetigkeit gegen "Null" strebt.

Um für jede Periode eine zulässige Produktionslösung zu erhalten, muß das jeweilige Kapazitätsangebot z_{it} mindestens der zugehörigen Faktorbelastung x_{it} entsprechen (3.25). Die Zielfunktion gewährleistet dann eine kostenminimale Anpassungsform.

$$(3.25) \quad z_{it} \geq x_{it}$$

Durch Anwendung der Glättungsmethoden wird nun die Ausgangsbelastung (G_{i0}) stufenweise eingeebnet. Zu jedem Glättungskoeffizienten G_i werden sodann das erforderliche Kapazitätsangebot sowie die hieraus resultierenden Gesamtkosten ermittelt.⁶⁹⁾

69) Da die Ermittlung der zugehörigen Planungskosten sehr problematisch ist, empfiehlt es sich, eine auf Erfahrung begründete Kostenkurve vorzugeben. Bereits entstandene Planungskosten dürfen die Entscheidung nicht mehr beeinflussen.



Da mit zunehmender Glättung der Ausgleichsaufwand immer größer wird, die Kapazitätseinsparung jedoch immer geringer, stehen den progressiven Glättungskosten degressive Einsparungen gegenüber (Abb. 3.15). Die optimale Kapazitätsanpassung ist dort erreicht, wo die absoluten Steigungen der entgegengerichteten Kostenkurven einander gleich sind (3.26; 3.27).

$$(3.26) \quad \frac{dK}{dG} = \frac{dK_A}{dG} + \frac{dK_B}{dG} + \frac{dK_P}{dG} = 0$$

$$(3.27) \quad \frac{dK_B}{dG} + \frac{dK_P}{dG} = - \frac{dK_A}{dG}$$

Da zwar jeder Belastungskurve ein G_i -Wert entspricht, umgekehrt jedoch verschiedene Belastungssituationen den gleichen Glättungsfaktor aufweisen können, wird zur Wahrung der Eindeutigkeit festgelegt, daß bei mehreren gleichstetigen Belastungsprofilen die kostenungünstigeren ausscheiden.

Die bisherigen Untersuchungen hatten die optimale Anpassung eines Faktors i zum Ziele. Will man jedoch ein gesamtbetriebliches Optimum erarbeiten, so sind die Glättungskoeffizienten sämtlicher Faktoren zu einem einheitlichen Indikator zusammenzufassen. Bei einer gleichgewichtigen Einschätzung aller Potentialfaktoren erhält man diesen Indikator aus (3.28):

$$(3.28) \quad G = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n G_i^2}}{n}$$

Die Erhaltung der Eindeutigkeit im Falle mehrerer gleichstetiger Gesamtbelastungssituationen erfordert auch hier die Anwendung des Kostenkriteriums.

3.6.2. Die Zielwirkungen alternativer Lösungskonzeptionen

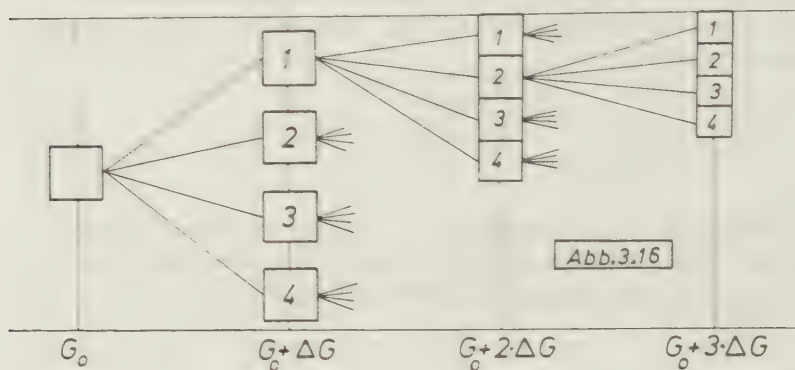
Soll das exakte mathematische Optimum errechnet werden, so erfordert dies eine simultane Planung sämtlicher Anpassungsinstrumente. Da jedoch zur Zeit ein derartiger Algorithmus nicht existiert, kann nur auf der Basis heuristischer Methoden eine zufriedenstellende Näherungslösung angestrebt werden.

Im folgenden gilt es nun, ein Verfahren zu konzipieren, das den kostenminimalen Einsatz der zur Nivellierung der Gesamtbelastung (G) ausgewählten Ausgleichsmethoden steuert. In analoger Weise ist dann das Kapazitätsangebot anzupassen.

Eine beliebig genaue - jedoch nur theoretisch vorstellbare - Annäherung an das Optimum erlaubt die Anwendung der Entscheidungsbäumverfahren.⁷⁰⁾ Hierzu wird - vom Anfangszu-

70) Vgl. hierzu Müller-Merbach, H., Operations Research, a.a.O., S. 325 ff.

stand G_0 ausgehend - das Problem in Glättungsschritte ΔG unterteilt. Für jeden Zustand $(G_0 + i \cdot \Delta G)$ wird sodann untersucht, durch welche Methodenkombination er kostenminimal erreicht werden kann (Abb. 3.16).



Die Zahl der Methodenkombinationen wächst mit der Zahl der Glättungsschritte rasch an und beträgt bei m Methoden für den i -ten Schritt bereits m^i Kombinationsmöglichkeiten.⁷¹⁾ Da die Güte der Lösung von der Schrittgröße abhängt, mit abnehmenden ΔG aber der Rechenaufwand sehr schnell in unvorstellbare Dimensionen ausartet, ist dieses Konzept nicht anwendbar.

Eine Vereinfachung dieses Prinzips besteht darin, die einzelnen Methoden über dem gesamten Glättungsbereich nur einmal einzusetzen. Hierzu wird vor Beginn des Anpassungsprozesses eine Methode ausgewählt, die solange angewandt wird,

71) Der Aufwand sinkt auf $m \cdot i$ Kombination, wenn die Glättungsmethoden so entwickelt werden, daß sie unabhängig voneinander sind. Pro Schritt wird dann die Methode mit dem kleinsten Kostenzuwachs ausgewählt. Die Konstruktion derartiger Methodenelemente, durch die die Freiheitsgrade der anderen Methoden nicht beeinträchtigt werden, dürfte aber sehr problematisch sein.

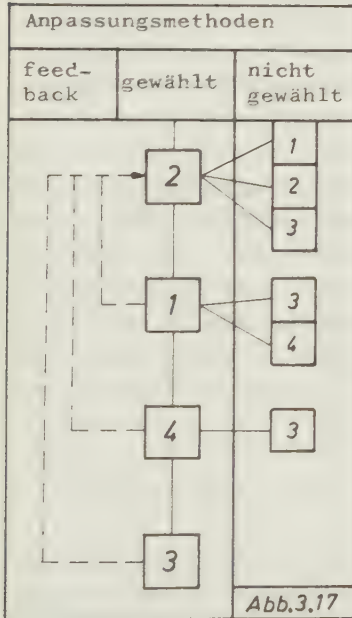
bis mit ihr eine weitere Glättung nicht mehr erzielbar ist. Die anschließende Wahl einer neuen Methode soll durch die Festlegung der verbliebenen Freiheitsgrade eine weitere Einbnung des Belastungsprofils bewirken (Abb. 3.17). Da die Reihung des Methodeneinsatzes die Güte des Ergebnisses wesentlich beeinflusst, läßt es die Zielfunktion (3.23) zweckmäßig erscheinen, die Methoden nach zunehmendem Kostengra-

dienten geordnet anzuwenden. Diejenige Methode, die bei der jeweiligen Belastungssituation die relativ kostengünstigste Glättung ermöglicht (3.29),

$$(3.29) \quad \left(\frac{\Delta K_B}{\Delta G} \right) \rightarrow \text{MIN}$$

erhält den Vorzug. Entstehen bei ihrer Anwendung neue Freiheitsgrade für die vor ihr eingesetzten Ausgleichsverfahren, so kann dies durch einen Rückkoppelungsprozeß berücksichtigt werden (Abb. 3.17).

Die hier dargelegte Auswahl der jeweils nächsten Methode kann entfallen, wenn aufgrund der be-



trieblichen Produktionssituation durch Kostenüberlegungen a priori die vorteilhafteste Planungsreihenfolge vorgegeben werden kann.

Ein weiteres Kriterium zur Reihung der Anpassungsinstrumente kann in deren Fristigkeit und Wirkungsweise bestehen. Anstatt zuerst die kostenminimale Glättung zu ermitteln und dieser sodann das erforderliche kostenminimale Kapazitäts-

angebot gegenüberzustellen, können in einem ersten Prozeß durch die längerfristigen und gröber wirkenden Anpassungsverfahren die Faktorbelastung und die Kapazität aufeinander abgestimmt werden. Im nächsten Schritt erfolgt dann eine weitere Angleichung durch kürzerfristige und feiner wirkende Methoden. Diese Zuordnung ermöglicht eine Verbindung von Fristigkeit und Planungshorizont, durch die der Rechenaufwand vermindert werden kann.⁷²⁾

72) Vgl. hierzu Brankamp, K., Terminplanungssystem ..., a.a.O., S. 29 ff. sowie Kap. 2.1.4. dieser Arbeit.

4. DER EINSATZ DER WARTESCHLANGENTHEORIE ZUR ABSTIMMUNG DER LEISTUNGSQUERSCHNITTE

In dieser Arbeit ist die Kapazitätsplanung bisher ausschließlich auf der Basis eines deterministischen Produktionssystems untersucht worden. Diese Annahme setzt voraus, daß innerhalb des gesamten Planungszeitraumes die Eingangs- und Liefertermine sämtlicher Aufträge sowie deren Fertigungsstruktur und Prozeßzeiten bekannt sind. Durch das Auftreten risikobehafteter und/oder unsicherer Daten¹⁾ wird jedoch meist diese Idealkonstellation beeinträchtigt. Sollen die hieraus resultierenden Wahrscheinlichkeitsvorstellungen explizit im Planungsmodell erfaßt werden, so sind die deterministischen Daten durch Verteilungsfunktionen zu ersetzen. Zur Lösung derartiger stochastischer Produktionsmodelle eignet sich speziell die Warteschlangentheorie. Sie versucht, aus den gegebenen Verteilungsfunktionen der Auftragsankünfte und der Bearbeitungszeiten die sich vor den Potentialfaktoren bildenden Warteschlangen abzuleiten.

4.1. Produktions- und kostentheoretische Grundlagen

Zur Einordnung dieser Planungsmethode in den umfassenden Rahmen einer Produktionstheorie werden im folgenden die Beziehungen zwischen den Parametern der Warteschlangentheorie und den in der Produktionsfunktion vom Typ C enthaltenen Entscheidungstatbeständen analysiert. Methodologisch betrachtet ist die Warteschlangentheorie ein mathematisches Teilgebiet der Wahrscheinlichkeitstheorie und bedarf insofern keiner wirtschaftswissenschaftlichen Fundierung. Kon-

1) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., Fußnote 92 sowie Kapitel 2.3.3. dieser Arbeit.

zipiert man jedoch ein Modell derart, daß es sich mit Hilfe dieses mathematischen Instrumentariums lösen läßt, so ist die Modellisomorphie zu belegen. Die Formulierung eines derartigen Modells bedarf also sehr wohl einer produktionstheoretischen Ableitung. Im Anschluß an diese Untersuchung werden die in die Zielfunktion eingehenden Kostenelemente definiert.

4.1.1. Produktionstheoretische Ableitung eines Warteschlangenmodells auf der Grundlage der Produktionsfunktion vom Typ C

Will man den Systemzustand zu jedem Zeitpunkt beschreiben, so ist dies nur mit Hilfe eines kontinuierlichen Zeitablaufmodelles durchführbar. Für die analytische Methode der Warteschlangentheorie wäre hierzu ein komplexes mathematisches Modell erforderlich, in dem die Zeitabhängigkeiten durch partielle Differentialgleichungen erfaßt werden.²⁾ Da die Warteschlangentheorie für derartige dynamische Modelle jedoch noch keine Lösungen anzubieten hat, muß sie sich auf die Analyse des stationären Zustandes beschränken.³⁾ Für eine produktionstheoretische Fundierung ist in diesem Falle die statische Form der Produktionsfunktion vom Typ C ausreichend.

Die Warteschlangentheorie ist zur exakten Untersuchung von Realproblemen nur begrenzt anwendbar, da ein stationärer Zustand nur unter sehr speziellen Bedingungen erreichbar

2) Ackoff, R.L./Sasieni, M.W., Operations Research, Stuttgart 1970, S. 269.

3) Simulationsmodelle können auch instationäre Zustände beschreiben. Da sie jedoch meist auf der Basis der Netzplantechnik arbeiten, ist hier eine produktionstheoretische Ableitung nicht erforderlich. (Zur Beziehung von Produktionsfunktion und Netzplantechnik vgl. Kapitel 3. dieser Arbeit.).

ist.⁴⁾ Zufriedenstellende Ergebnisse vermag sie jedoch zu erzielen, wenn die tatsächlichen Zustände lediglich oszillatorisch um den Gleichgewichtszustand schwanken. Verläuft daher die zeitliche Entwicklung der Auftragseingänge verhältnismäßig gleichmäßig, so mag die Warteschlangentheorie durchaus zur optimalen Festlegung des langfristigen Zustandes geeignet sein. Wegen ihrer Beschränkung auf die Analyse stationärer Zustände kann die produktionstheoretische Untersuchung von den Funktionen (4.1) und (4.2) ausgehen.⁵⁾

$$(4.1) \quad r_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \cdot w_j \quad \text{wobei } r_{ij} = f_{ij}(t_j)$$

$$(4.2) \quad T_{iN} = \sum_{j=1}^m \tau_{ij} \cdot w_j \quad \text{wobei } \tau_{ij} = f'_{ij}(t_j)$$

Diese Gleichungen bilden die Grundlage für die folgende Untersuchung verschiedener stochastischer Produktionssysteme.

Fall 1: Ankunftsrate: prozeßbezogen und stochastisch
 Prozeßzeiten: deterministisch

Bezeichnet t_{Aj} die Zeit zwischen den Ankünften zweier Aufträge beim Basisprozeß j und gibt $f(t_{Aj})$ die zugehörige Dichtefunktion wieder, so errechnet sich die durchschnittliche Ankunftsrate aus (4.3).

$$(4.3) \quad \bar{\lambda}_j = \frac{1}{\int_0^{\infty} t_{Aj} \cdot f(t_{Aj}) \cdot dt_{Aj}}$$

4) Vgl. Kapitel 1.1., S. 19 dieser Arbeit.

5) Vgl. Kapitel 1.1., S. 15 f. dieser Arbeit.

Diese mittlere Ankunftsrate $\bar{\lambda}_j$ entspricht dem Anteil (v_{jk}) der Zwischenproduktmenge x_k , der durch Vollzug des Basisprozesses j zu erstellen ist. Gibt $\bar{x}_k$ den Erwartungswert der Zwischenprodukte wieder, so kann die Ankunftsrate auch produktionstheoretisch definiert werden (4.4).

$$(4.4) \quad \bar{\lambda}_j = \sum_k v_{jk} \cdot \bar{x}_k$$

Die Dichtefunktionen der Zwischenprodukte ($\bar{x}_k$) können ausgehend von den Dichtefunktionen der Endprodukte über Programmfunktionen abgeleitet werden. Eine derartige Bedarfsauflösung wird als quasi-deterministisch bezeichnet.⁶⁾ Handelt es sich um geringwertige Produkte und/oder verfügen diese über einen direkten Absatzmarkt (z.B. Ersatzteile), so besteht die Möglichkeit, ohne explizite Berücksichtigung von Programmfunktionen eine rein stochastische Bedarfsauflösung vorzunehmen.⁷⁾

Die Gleichung (4.4) macht deutlich, daß die Ankunftsrate $\bar{\lambda}_j$, die den Zwischenproduktbedarf des Basisprozesses j darstellt, Bestandteil der Wiederholungsfunktion ist.⁸⁾ Erhöht man den Zwischenproduktbedarf um den Ausschußanteil α_j und bezieht diese Produktmenge auf das Outputniveau β_j , so erhält man die Wiederholungszahl des Basisprozesses j (4.5). Eingesetzt in die statische Produktionsfunktion (4.1; 4.2) kann der Faktorverzehr und der Nutzzeitbedarf dieses Produktionssystems als Funktion der Ankunftsrate $\bar{\lambda}_j$ dargestellt werden (4.6; 4.7).

$$(4.5) \quad w_j = \frac{\alpha_j}{\beta_j} \cdot \bar{\lambda}_j$$

6) Habermellner, R./Rutz, K., Integrierte Produktionssteuerung, a.a.O., S. 39.

7) Vgl. S. 48 dieser Arbeit.

8) Zur Wiederholungsfunktion vgl. S. 17 dieser Arbeit.

$$(4.6) \quad \bar{r}_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \cdot \frac{\alpha_j}{\beta_j} \cdot \bar{\lambda}_j \quad \text{mit } r_{ij} = f_{ij}(t_j)$$

$$(4.7) \quad \bar{T}_{iN} = \sum_{j=1}^m \tau_{ij} \frac{\alpha_j}{\beta_j} \cdot \bar{\lambda}_j \quad \text{mit } \tau_{ij} = f'_{ij}(t_j)$$

Fall 2: Gesamtankunftsrate: stochastisch
 Bedarfsauflösung: stochastisch
 Prozeßzeit: deterministisch

Die durchschnittliche Gesamtankunftsrate $\bar{\lambda}$ entspricht der Menge der insgesamt eintreffenden Fertigungsaufträge, ungeachtet ihrer artmäßigen Dimension. Sie kann über eine stochastische Bedarfsauflösung in die auftragsbezogenen Ankunftsraten $\bar{\lambda}_j$ zerlegt werden (4.8a). Dies erfolgt mit Hilfe einer Dichtefunktion $d(j)$, welche die Wahrscheinlichkeit für die Durchführung des j -ten Basisprozesses wiedergibt. Das System der Programmfunktionen, die Verteilungsparameter sowie die Wahrscheinlichkeiten hinsichtlich der Zusammensetzung des Produktionsprogrammes sind in dieser diskreten Funktion implizit enthalten. Die Produktionsfunktion bei stochastischer Bedarfsauflösung kann demnach analog (4.6; 4.7) durch die Gleichungen (4.8; 4.9) definiert werden.

$$(4.8) \quad \bar{r}_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \cdot d(j) \cdot \frac{\alpha_j}{\beta_j} \cdot \bar{\lambda} \quad \text{wobei (4.8a)} \quad \bar{\lambda}_j = d(j) \cdot \bar{\lambda}$$

$$(4.9) \quad \bar{T}_{iN} = \sum_{j=1}^m \tau_{ij} \cdot d(j) \cdot \frac{\alpha_j}{\beta_j} \cdot \bar{\lambda}$$

Fall 3: Gesamtankunftsrate: stochastisch
 Bedarfsauflösung: stochastisch
 Prozeßzeit: stochastisch

In vollkommen stochastischen Produktionssystemen sind auch die Prozeßzeiten t_j nur mehr unter Risiken vorhersehbar. Derartige wahrscheinlichkeitsbedingte Tätigkeitszeiten treten vor allem bei der Einzelfertigung sowie bei arbeitsintensiven und schwer schematisierbaren Fertigungsverfahren auf. Will man dieses Risiko explizit erfassen, so sind für die Durchführungszeiten eines jeden Basisprozesses entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilungen $d_j(t_j)$ zu ermitteln und gemäß (4.10) und (4.11) in die Produktionsfunktion einzuführen. Beim Basisprozeß j nehmen somit der Faktorverbrauch ($\bar{r}_{ij}$) und der Nutzzeitbedarf ($\bar{\tau}_{ij}$) stochastischen Charakter an.

$$(4.10) \quad \bar{r}_i = \sum_{j=1}^m \overbrace{\int_0^{\infty} f_{ij}(t_j) \cdot d_j(t_j) \cdot dt_j \cdot d(j)}^{\bar{r}_{ij}} \frac{\alpha_j}{\beta_j} \cdot \bar{\lambda}$$

$$(4.11) \quad \bar{\tau}_{iN} = \sum_{j=1}^m \underbrace{\int_0^{\infty} f'_{ij}(t_j) \cdot d_j(t_j) \cdot dt_j \cdot d(j)}_{\bar{\tau}_{ij}} \frac{\alpha_j}{\beta_j} \cdot \bar{\lambda}$$

wobei $r_{ij} = f_{ij}(t_j)$ und $\tau_{ij} = f'_{ij}(t_j)$

In der Produktionsfunktion vom Typ C wird die Kapazitätsbeschränkung eines Potentialfaktors durch die maximal verfügbare Gesamtnutzzeit $T_{i,max}$ berücksichtigt. Da $\bar{\tau}_{iN}$ den Erwartungswert der effektiv benötigten Gesamtnutzzeit beinhaltet, erfordert die Kapazitätsrestriktion die Einhaltung der Bedingung (4.12).

$$(4.12) \quad \bar{\epsilon} \cdot \bar{T}_{iN} \leq T_{i,max}$$

Die Risikobereitschaft des Entscheidungsträgers geht hierbei durch den Sicherheitskoeffizienten $\bar{\epsilon}$ in diese Nebenbedingung ein und bestimmt so den Grad der Kapazitätsausnutzung.

Werden mehrere artgleiche Potentialfaktoren zu einer Gruppe zusammengefaßt, so ist die verfügbare Gesamtnutzzeit $T_{i,max}$ durch das Produkt der Nutzzeit eines Faktors ($t_{i,max}$) und die Anzahl der Potentialfaktoren (g_i) definiert (4.13).

$$(4.13) \quad T_{i,max} = g_i \cdot t_{i,max} \geq \bar{T}_{iN} \cdot \bar{\epsilon}$$

In die Nebenbedingung (4.13) läßt sich nun die Bestimmungsgleichung des Nutzzeitbedarfes (4.11) einfügen. Die Kapazitätsrestriktion kann dann durch die Warteschlangenvariablen, nämlich die Ankunftsrate ($\bar{\lambda}$) und die Bearbeitungs- oder Bedienungsrate ($\bar{\mu}_i$) ausgedrückt werden (4.14).

$$(4.14) \quad \bar{\epsilon} \cdot \bar{\lambda} \leq \frac{g_i \cdot t_{i,max}}{\sum_{j=1}^m \int_0^{\infty} \tau_{ij} \cdot d_j(t_j) \cdot dt_j \cdot d(j) \frac{\alpha_j}{\beta_j}} = \bar{\mu}_i$$

Aus der Darstellungsform (4.14) lassen sich die Anpassungsmöglichkeiten des Kapazitätsangebotes deutlich ablesen. So ist eine Variation der Größe g_i gleichbedeutend mit einer multiplen quantitativen Anpassung und eine Änderung des Parameters $t_{i,max}$ mit einer zeitlichen Anpassung. Einer Erweiterung des Indexes i um neue Potentialfaktorarten liegt hingegen eine quantitative Anpassung mutativer Art zugrunde, während eine Variation der Dichtefunktion $d_j(t_j)$ mit einer

Änderung der Kapazitätsausnutzung übereinstimmt. Nur wenn die maximale Prozeßzeit verringert worden ist, entspricht dem eine intensitätsmäßige Kapazitätsanpassung.

Die rechte Seite der Ungleichung (4.14) ist als mittlere Bedienungsrate ($\bar{\mu}_1$) definiert. Sie ist selbst das Resultat von Dichtefunktionen, wobei es lediglich ein Definitionsproblem ist, ob Änderungen in der Auftragszusammensetzung - wiedergegeben durch eine Änderung der Dichtefunktion $d(j)$ - eine Variation der Ankunftsrate oder der Bedienungsrate induzieren. Wegen der im Fall 3 eingeführten Gesamtankunftsrate ist die Auftragszusammensetzung dort Bestandteil der Bedienungsrate⁹⁾, während im Fall 1 alternative Auftragszusammensetzungen zu Änderungen der Auftratsraten $\bar{\lambda}_j$ führen.¹⁰⁾

-
- 9) Dem liegt eine quantitative Betrachtung zugrunde, wobei der Output eines Potentialfaktors als homogen angesehen wird. Verschiedenartige Produkte beanspruchen den Faktor lediglich in zeitlicher Hinsicht unterschiedlich, was einer Änderung der Bedienungsrate entspricht. Vgl. Stackelberg, H.v., Grundlagen einer reinen Kostentheorie, Wien 1932, S. 5 ff.
- 10) In dieser mehr qualitativen Betrachtung sind bei Änderungen der Auftragszusammensetzung sämtliche $\bar{\lambda}_j$ neu festzulegen. Soll die Gesamtankunftsrate eines j Potentialfaktors ermittelt werden, so sind die Ankunftsrate mit ihrer Basisnutzzeit zu gewichten.

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{j=1}^m \tau_{ij} \cdot \frac{\alpha_j}{\beta_j} \cdot \bar{\lambda}_j}{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \tau_{ij} \cdot \frac{\alpha_j}{\beta_j}} \leq \frac{g_i \cdot t_{i,\max}}{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \tau_{ij} \cdot \frac{\alpha_j}{\beta_j}} = \bar{\mu}_i$$

Hier verursachen jedoch Änderungen der Nutzzeiten eine Variation der Gesamtankunftsrate, so daß diese Definition nur zweckmäßig ist, wenn mit deterministischen Nutzzeiten und somit konstanten Bedienungsraten gerechnet werden kann.

Zweckmäßigerweise wird jeweils die Definition ausgewählt, die den realen Verhältnissen am besten entspricht und zugleich den mathematischen Lösungsweg vereinfacht. Um die Einheitlichkeit mit der bestehenden Literatur zu wahren, wird in der folgenden Untersuchung von der Form (4.14) ausgegangen.

4.1.2. Die Definition der Kostenelemente in der Zielfunktion

Da die Verteilungsfunktion der Auftragseingänge exogen vorgegeben ist und bei konstanten Preisen somit die Erlösverteilung festliegt, wird zur Maximierung des Betriebsgewinnes eine kostenminimale Anpassung der Bedienungsrate $\bar{\mu}_i$ angestrebt.¹¹⁾ In stochastischen Produktionssystemen herrschen jedoch über die Konsequenzen alternativer Entscheidungen nur Wahrscheinlichkeitsvorstellungen, so daß die Zielvariable selbst die Form einer Verteilungsfunktion annimmt. Zu ihrer Charakterisierung bedient man sich der Begriffe "Erwartungswert" und "Varianz".

Da unter den möglichen Formen der Kapazitätsanpassung im folgenden nur die multiple quantitative Variante verwendet wird, bleibt die Verteilungscharakteristik der Bedienungsrate und somit deren Varianz konstant.¹²⁾ Die Zielfunktion kann sich daher auf die Minimierung des Kostenerwartungswertes beschränken.

11) Den umgekehrten Fall betrachtet Hoss. Bei ihm wird für eine gegebene Bedienungsrate $\bar{\mu}$ eine optimale Werkstattbelastung durch Variation von $\bar{\lambda}$ ermittelt. Vgl. Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 161.

12) Gliedert man die Gleichung (4.14) gemäß (4.14a) auf,

$$(4.14a) \quad \bar{\mu}_i = g_i \cdot t_{i,\max} \cdot f(\bar{\mu}')$$

so hat $\bar{\mu}_i$ bei exponentieller Verteilungsfunktion die Varianz $\bar{\mu}_i^2 / f(\bar{\mu}')$.

Eine Erhöhung der Fertigungskapazität verursacht zum einen zusätzliche Potentialfaktorkosten (K_K), zum anderen steigert sie die Bedienungsrate und verringert dadurch die zeitabhängigen Kosten (K_w), die von der Länge der Warteschlange abhängen. Das Produktionsmodell erhält somit die Zielfunktion (4.15) und (4.16).

$$(4.15) \quad K_G(\lambda, \mu) \longrightarrow \text{MIN}$$

$$(4.16) \quad K_G(\lambda, \mu) = K_K(\lambda, \mu) + K_w(\lambda, \mu)$$

Ackoff und Sasieni¹³⁾ behaupten nun:

"Die Schwierigkeit bei den meisten Warteschlangenproblemen liegt in der Bestimmung der Wartezeitverteilung, nicht in der Lösung des 'Kosten'-Modells, wenn die wesentlichen Eigenschaften der Warteschlangen erst einmal bekannt sind."

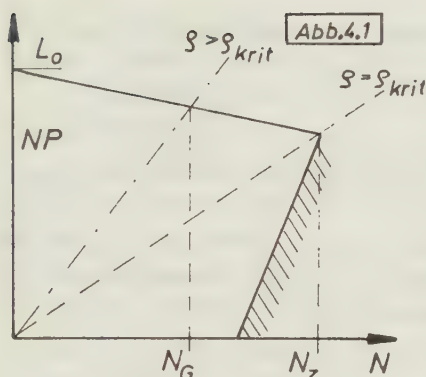
Dem kann jedoch nicht ohne weiteres zugestimmt werden, da Unzulänglichkeiten in der Kostenzurechnung und Verallgemeinerungen in den Erklärungsgleichungen ebenso Abweichungen vom Optimum bewirken wie die falsche Bestimmung der Warteschlangenverteilung. Diese Probleme werden jedoch in der Literatur häufig durch die Einführung nicht-operationaler Kostenkoeffizienten verlagert. Im folgenden soll daher eine kurze Analyse des "Kosten"-Modells vorgenommen werden.

A. POTENTIALFAKTORKOSTEN:

Die ökonomische Lebensdauer eines Potentialfaktors wird durch Nutzungsverzehr sowie durch materiellen und immateriellen Zeitverzehr beeinträchtigt (Abb. 4.1).¹⁴⁾ Zur Bewertung dieser Verzehrarten sei die Wiederbeschaffungsal-

13) Ackoff, R.L./Sasieni, M.W., Operations Research, a.a.O., S. 267.

14) Vgl. Kapitel 2.3.1.1., S. 99 dieser Arbeit.



ternative zu konstanten Investitionskosten R_J unterstellt, die mit den ebenfalls gegebenen Bereitschaftskosten R_B und Liquidationserlösen R_L zu dem Potentialfaktorkostensatz $k_f^{(i)}$ zusammengefaßt werden können.

Unter diesen Prämissen sind die Potentialfaktorkosten K_K eine Funktion der Kapazitäts-

auslastung g_i , die den Anteil der jeweiligen Verzehrsarten bestimmt. Unterschreitet die Kapazitätsausnutzung g_i den kritischen Grenzwert $g_{i,krit}$, so ist der Nutzungsverzehr für die Lebensdauer des Faktors nicht maßgebend. Übertrifft jedoch die Kapazitätsauslastung diesen Wert, so entfällt der immaterielle Verzehr. Die Kostenermittlung wird daher zweckmäßigerweise für beide Bereiche getrennt vorgenommen:

a) Bereich $g_i \leq g_{i,krit}$

Die Faktor-Lebensdauer $N_z^{(i)}$ wird allein durch den Zeitverzehr bestimmt, so daß die Kosten $k_f^{(i)}$ proportional auf die einzelnen Perioden aufgeteilt werden können (4.17a)

$$(4.17a) \quad K_k^{(i)} = \frac{k_f^{(i)}}{N_z^{(i)}} \cdot g_i$$

b) Bereich $g_i > g_{i,krit}$

Werden Nutzungsverzehr und materieller Zeitverzehr gemeinsam wirksam, so wird das gesamte Leistungspotential $L_o^{(i)}$ in dem Perioden-Zeitraum $N_G^{(i)}$ verbraucht (4.18).

$$(4.18) \quad N_G^{(i)} = \frac{L_o^{(i)}}{L_t^{(i)} \cdot g_i + L_o^{(i)} \cdot \gamma_i} \quad \text{wobei}$$

$L_t^{(i)}$ = maximale Leistungsabgabe innerhalb einer Periode

γ_i = anteiliger Zeitverschleiß pro Periode (Abb. 4.1)

ϑ_i = Kapazitätsauslastung = $\frac{\bar{\lambda}}{\bar{\mu}_i} = \frac{\bar{\lambda}}{g_i \cdot \bar{\mu}_i}$

Bezieht man den Potentialfaktorkostensatz $k_f^{(i)}$ analog (4.17a) auf die Faktorlebensdauer $N_G^{(i)}$, so errechnen sich die Potentialfaktorkosten je Periode aus (4.17b).

$$(4.17b) \quad K_k^{(i)} = \frac{k_f^{(i)} \cdot g_i(L_t^{(i)} \cdot \vartheta_i + L_o^{(i)} \cdot \gamma_i)}{L_o^{(i)}} = \overbrace{k_f^{(i)} \cdot \frac{L_t^{(i)} \cdot \bar{\lambda}}{L_o^{(i)} \cdot \bar{\mu}_i}}^{k_f^{(i)}} + k_f^{(i)} \gamma_i g_i$$

Bei gegebener Auftragsrate bleibt der Nutzungsverzehr je Periode konstant, so daß der ersten Term ($k_f^{(i)}$) der Gleichung (4.17b) von der Anzahl der Potentialfaktoren unabhängig und daher für eine bereichsinterne Optimierung nicht relevant ist. Für eine Gesamtoptimierung muß er jedoch in die Potentialfaktorkosten K_K (4.17) miteinbezogen werden, da das Optimum auch an der Bereichsgrenze auftreten kann.

$$(4.17) \quad K_k^{(i)} = \begin{cases} g_i \cdot k_f^{(i)} / N_z^{(i)} & \text{für } \vartheta_i \leq \vartheta_{i,krit} \quad (4.17a) \\ k_f^{(i)} \cdot \gamma_i g_i + k_f^{(i)} & \text{für } \vartheta_i > \vartheta_{i,krit} \quad (4.17b) \end{cases}$$

Teilweise wird in der Literatur zur Bewertung der Kosten ungenutzter Kapazität der entgangene Gewinn herangezogen.¹⁵⁾ Hierbei wird jedoch übersehen, daß nicht die Möglichkeit zur Mehrproduktion, sondern nur die Möglichkeit zu einem kostenüberdeckenden Mehrabsatz einen Gewinnentgang verur-

15) Vgl. Schmidt, R., Kapazitätsplanung, a.a.O., S. 54.

sacht. Da die Auftragsrate gegeben ist, kann ein Gewinn-
entgang nicht eingesehen werden.

B. WARTEKOSTEN:

Eine Erhöhung der Verkehrsdichte β_i - bei den unterstell-
ten Prämissen gleichbedeutend mit einer Abnahme der Bedie-
nungsrate $\bar{\mu}_i$ - bewirkt eine Verlängerung der mittleren Auf-
tragsdurchlaufzeit, wodurch die zeitabhängigen Kostenarten
beeinflusst werden können¹⁶⁾, nämlich

1. die Lager- und Kapitalbindungskosten sowie
2. die fälligen Vertragsstrafen und entgehenden Gewinne.

Unterstellt man die Kosten der Lagerung und Kapitalbindung
je Basisprozeß näherungsweise als zeitlich proportional,
so können sie in einem Kostensatz $k_{wI}^{(j)}$ zusammengefaßt wer-
den. Die Wartekosten eines einzelnen Basisprozesses j beim
Potentialfaktor i erhält man dann aus dem Produkt des Ko-
stensatzes $k_{wI}^{(j)}$ mit der dort auftretenden Wartezeit $\bar{t}_w^{(ij)}$.
Multipliziert man dieses Ergebnis mit der prozeßbezogenen
Ankunftsrate $\bar{\lambda}_j$ und summiert über sämtliche Prozesse (x_{ij}),
die den Potentialfaktor i belegen, so resultieren hieraus
die beim Faktor i anfallenden Wartekosten ($K_{wI}^{(i)}$).

$$(4.19) \quad K_{wI}^{(i)} = \sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot k_{wI}^{(j)} \cdot \overbrace{d(j) \cdot \bar{\lambda}_j}^{\bar{\lambda}_j} \cdot \bar{t}_w^{(ij)} \quad \text{wobei}$$

$$(4.19a) \quad x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{wenn der Prozeß } j \text{ den Poten-} \\ & \text{tialfaktor } i \text{ erfordert} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$t_w^{(ij)} = \text{mittlere Wartezeit des Prozesses } j \\ \text{vor dem Faktor } i$$

16) Vgl. Kapitel 2.3.2., S. 113 dieser Arbeit.

Da die einzelnen Prozesse rein zufällig aus der Warteschlange ausgewählt werden sollen, ist die durchschnittliche Wartezeit vor dem Faktor i ($t_{wI}^{(i)}$) für sämtliche Aufträge gleich. Wegen der ebenfalls konstanten Auftragsverteilung $d(j)$ kann der Wartekostensatz auf den Faktor i bezogen werden (4.20).

$$(4.20) \quad k_{wI}^{(i)} = \overbrace{\sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot k_{wI}^{(j)} \cdot d(j)}^{k_{wI}^{(i)}} \cdot \bar{\lambda} \cdot t_w^{(i)} = k_{wI}^{(i)} \cdot \bar{\lambda} \cdot t_w^{(i)} = k_{wI}^{(i)} \cdot \bar{n}_s^{(i)}$$

wobei $\bar{n}_s^{(i)}$ = mittlere Anzahl der Aufträge in der Warteschlange i

Nimmt man nun an, daß für sämtliche Basisprozesse, die den Faktor i beanspruchen, eine mittlere Wartezeit $t_{w,krit}^{(i)}$ bei der Angebotsterminierung einkalkuliert worden ist, so können bei deren Überschreitung Vertragsstrafen fällig werden, die näherungsweise als zeitproportional unterstellt werden. Faßt man Vertragsstrafen und Gewinnentgang¹⁷⁾ in einem Kostensatz $k_{wII}^{(i)}$ zusammen, so kann dieser analog (4.20) auf den Potentialfaktor i bezogen werden (4.21). Erst ab Überschreitung der kritischen Warteschlangenlänge $\bar{n}_{s,krit}^{(i)}$ entstehen demnach beim Potentialfaktor i zeitproportionale Verspätungskosten.

$$(4.21) \quad k_{wII}^{(i)} = \begin{cases} 0 & \text{für } \bar{n}_s^{(i)} \leq \bar{n}_{s,krit}^{(i)} \text{ bzw. } g_i \leq g'_{i,krit} \\ k_{wII}^{(i)} \cdot (\bar{n}_s^{(i)} - \bar{n}_{s,krit}^{(i)}) & \text{für } g_i > g'_{i,krit} \end{cases}$$

Die gesamte Kostenfunktion zerfällt demnach in drei Abschnitte, für die jeweils folgende stetige Funktionsäste Gültig-

17) Streng formal kann auch hier kein Gewinn entstehen, da die Ankunftsrate konstant ist. Um jedoch die Zielwirkungen der aus Terminüberschreitungen resultierenden Vertragsrücktritte und Kundenabwanderungen erfassen zu können, wird angenommen, daß deren Auswirkungen auf die Auftragsrate vernachlässigbar ist.

keit haben (vgl. Abb. 4.2):

I. Bereich: $\varphi > \varphi_{\text{krit}}$ und $\varphi > \varphi'_{\text{krit}}$

$$(4.22) \quad K_G^{(i)} = K_k^{(i)} + K_{wI}^{(i)} + K_{wII}^{(i)} = k_f^{(i)} \cdot \gamma_i \cdot g_i + k_{wI}^{(i)} \cdot \bar{n}_s^{(i)}(g_i) + k_{wII}^{(i)} \cdot (\bar{n}_s^{(i)}(g_i) - \bar{n}_{s,\text{krit}}^{(i)}) + k_f^{(i)} \cdot \frac{L_t^{(i)} \cdot \bar{\lambda}}{L_o^{(i)} \cdot \bar{\mu}_i}$$

wobei $\bar{n}_s^{(i)}(g_i)$ = die Warteschlangenlänge beim Faktor i als Funktion der Potentialfaktoreinheiten g_i

II. Bereich A: $\varphi \leq \varphi_{\text{krit}}$ und $\varphi > \varphi'_{\text{krit}}$

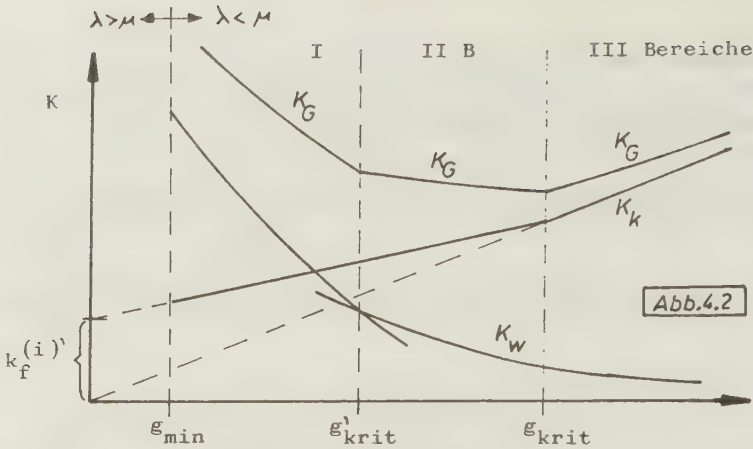
$$(4.23a) \quad K_G^{(i)} = K_k^{(i)} + K_{wI}^{(i)} + K_{wII}^{(i)} = \frac{k_f^{(i)}}{N_z^{(i)}} \cdot g_i + k_{wI}^{(i)} \cdot \bar{n}_s^{(i)}(g_i) + k_{wII}^{(i)} \cdot (\bar{n}_s^{(i)}(g_i) - \bar{n}_{s,\text{krit}}^{(i)})$$

II. Bereich B: $\varphi > \varphi_{\text{krit}}$ und $\varphi \leq \varphi'_{\text{krit}}$

$$(4.23b) \quad K_G^{(i)} = K_k^{(i)} + K_{wI}^{(i)} = k_f^{(i)} \cdot \gamma_i \cdot g_i + k_{wI}^{(i)} \cdot \bar{n}_s^{(i)}(g_i) + k_f^{(i)} \cdot \frac{L_t^{(i)} \cdot \bar{\lambda}}{L_o^{(i)} \cdot \bar{\mu}_i}$$

III. Bereich: $\varphi \leq \varphi_{\text{krit}}$ und $\varphi \leq \varphi'_{\text{krit}}$

$$(4.24) \quad K_G^{(i)} = K_k^{(i)} + K_{wI}^{(i)} = \frac{k_f^{(i)}}{N_z^{(i)}} \cdot g_i + k_{wI}^{(i)} \cdot \bar{n}_s^{(i)}(g_i)$$



Für die einzelnen Abschnitte sind durch eine Differenzenbetrachtung die Kostenminima zu ermitteln¹⁸⁾, wobei das Optimum dem minimum minimorum entspricht (Abb. 4.2). Es ergeben sich folgende Optimalitätsbedingungen:

I. Bereich:

$$\begin{aligned}
 & k_f^{(i)} \cdot \sum_i (g_{i+1}) + k_{wI}^{(i)} \cdot \bar{n}_s^{(i)}(g_{i+1}) + k_{wII}^{(i)} \cdot (\bar{n}_s^{(i)}(g_{i+1}) - \\
 & - \bar{n}_s^{(i)}(g_{s,krit})) - k_f^{(i)} \cdot \sum_i (g_i) - k_{wI}^{(i)} \cdot \bar{n}_s^{(i)}(g_i) - \\
 & - k_{wII}^{(i)} \cdot (\bar{n}_s^{(i)}(g_i) - \bar{n}_s^{(i)}(g_{s,krit})) = 0
 \end{aligned}$$

$$(4.25) \quad \frac{k_f^{(i)} \cdot \sum_i}{k_{wI}^{(i)} + k_{wII}^{(i)}} = \bar{n}_s^{(i)}(g_i) - \bar{n}_s^{(i)}(g_{i+1})$$

II. Bereich A:

$$(4.26a) \quad \frac{k_f^{(i)}}{N_z^{(i)} \cdot (k_{wI}^{(i)} + k_{wII}^{(i)})} = \bar{n}_s^{(i)}(g_i) - \bar{n}_s^{(i)}(g_{i+1})$$

¹⁸⁾ Vgl. Schmidt, R., Kapazitätsplanung, a.a.O., S. 75.

II. Bereich B:

$$(4.26b) \quad \frac{k_f^{(i)} \cdot \gamma_i}{k_{wI}^{(i)}} = \bar{n}_s^{(i)}(g_i) - \bar{n}_s^{(i)}(g_{i+1})$$

III. Bereich:

$$(4.27) \quad \frac{k_f^{(i)}}{N_z^{(i)} \cdot k_{wI}^{(i)}} = \bar{n}_s^{(i)}(g_i) - \bar{n}_s^{(i)}(g_{i+1})$$

Zur Lösung des Produktionsmodelles benötigt man also einen Algorithmus, der die durchschnittliche Warteschlangenlänge $\bar{n}_s^{(i)}$ in Abhängigkeit von der Anzahl g_i der Potentialfaktoren bestimmt.

In Abbildung 4.2 ist der mathematische Funktionszusammenhang graphisch verdeutlicht, wobei die Kosten als Funktion der Potentialfaktoreinheiten g_i abgebildet sind. Wegen der konstanten Auftragsrate $\bar{\lambda}$ kann jeder Faktormenge g_i eindeutig eine Kapazitätsauslastung φ_i zugeordnet werden (vgl. die Definition bei 4.18). Dem minimalen Potentialfaktorbestand $g_{i,min}$, der durch die Kapazitätsrestriktion (4.14) determiniert ist, entspricht eine Kapazitätsbelastung φ_i von "1".

Ausgehend von dieser Minimalkapazität steigen die Potentialfaktorkosten zunächst mit dem Proportionalitätsfaktor γ_i an, da lediglich der zusätzliche Zeitverzehr konstenwirksam wird, der auf die durch eine geringere Auslastung bedingte Lebensdauerverlängerung zurückzuführen ist. Der Nutzungsverzehr $k_f^{(i)}$ hingegen bleibt wegen der gegebenen Auftragsrate $\bar{\lambda}$ konstant. Erst ab Unterschreitung der kritischen Auslastung $\varphi_{i,krit}$ bzw. ab Überschreitung des kritischen Faktorbestandes $g_{i,krit}$ ist der Nutzungsverzehr nicht

mehr relevant¹⁹⁾, so daß die Potentialfaktorkosten mit dem gesamten Kostensatz $k_f^{(i)}$ zunehmen. Der Verlauf der Potentialfaktorkosten wird also im wesentlichen vom Verhältnis des Nutzungsverzehrs zum Zeitverzehr bestimmt, wobei ein geringerer Zeitverzehranteil einen größeren optimalen Potentialfaktorbestand zur Folge hat.

Die zeitproportionalen Kosten K_w nehmen wegen der überproportional wachsenden Wartezeit mit steigender Auslastung ρ_i bzw. sinkendem Potentialfaktorbestand g_i beschleunigt zu. Da ab der kritischen Wartezeit bzw. dem kritischen Faktorbestand $g_{i,krit}$ Vertragsstrafen fällig werden, weist die Kostenkurve hier einen Knick auf, von dem ab sich die Wartekostenzunahme weiter verstärkt. Die Zuordnung der aus den Angebotsterminen abgeleiteten kritischen Gesamtwartezeiten der einzelnen Aufträge auf die jeweiligen Potentialfaktoren enthält Probleme, die in den folgenden Abschnitten bei der Darstellung der einstufigen und mehrstufigen Produktionssysteme aufgezeigt werden.

Die optimale Potentialfaktorausstattung ist dort erreicht, wo die Summe von Potentialfaktorkosten und Wartekosten ihr Minimum aufweist. Dieses Minimum kann sowohl innerhalb eines Bereiches als auch an den Bereichsgrenzen auftreten.

19) Vgl. Kapitel 2.3.1.1. ab S. 99 ff. und S.104 dieser Arbeit.

Entsteht nur Nutzungsverzehr, so sind die Potentialfaktorkosten konstant und daher für die Optimierung nicht relevant. Allerdings sind in dieses Modell noch die durch den Potentialfaktor verursachten Kapitalbindungskosten miteinzubeziehen. Da hierzu der Zinsfuß näherungsweise auf den halben Potentialfaktorkostensatz bezogen werden kann, steigen die Kapitalbindungskosten proportional zum Faktorbestand.

4.2. Analytische Modelle

Zur operationsanalytischen Untersuchung von Warteschlangenmodellen können sowohl analytische Methoden als auch Simulationsverfahren angewandt werden. In diesem Abschnitt, der den analytischen Methoden gewidmet ist, werden ausschließlich solche Verfahren dargestellt, die auf der Basis der Poissonverteilung²⁰⁾ vorgehen, da andere Verteilungsfunktionen noch große mathematische Probleme bereiten. Die lediglich exemplarische Darstellung beschränkt sich auf den vollkommen stochastischen Fall, bei dem sowohl die Ankünfte als auch die Bearbeitungszeiten zufällige Größen sind.²¹⁾ Diese Poissonverteilung führt nach Sasieni und Ackoff nur in zwei Fällen zu schlechten Resultaten:²²⁾

- "1. Wenn die Ankünfte geplant sind und die Abweichungen gegenüber den geplanten Ankunftszeiten klein sind im Vergleich mit den geplanten Intervallen zwischen zwei Ankünften.
2. Wenn die Ankünfte sich aus einem zeitabhängigen Prozeß ergeben, wie das etwa für die Notwendigkeit der Instandhaltung von Einheiten in Frage käme, die sich abnutzen. Hier ist eine Bedienung selten erforderlich, wenn nicht eine bestimmte Zeit seit der letzten Bedienung vergangen ist. Die Annahme gleicher Wahrscheinlichkeit von Ankünften in jedem Zeitpunkt ist dann nicht gerechtfertigt."

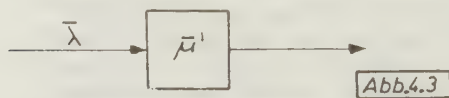
-
- 20) Vgl. u.a.: Ackoff, R.L./Sasieni, M.W., Operations Research, a.a.O., S. 269 f.; Angermann, A., Entscheidungsmodelle, Frankfurt 1963, S. 251 f.; Churchman, C.W./Ackoff, R.L./Arnoff, E.L., Operations Research, 3.Aufl., Wien-München 1966, S. 359 f.; Müller-Merbach, H., Operations Research, a.a.O., S. 423 f.; Kern, W., Optimierungsverfahren, a.a.O., S. 88 f.
- 21) Systeme mit konstanten Bedienungsraten bzw. konstanten Ankunftszeiten behandeln u.a.: Ackoff, R.L./Sasieni, M.W., Operations Research, a.a.O., S. 276 f.; Churchman, C.W./Ackoff, R.L./Arnoff, E.L., a.a.O., S. 365 f.; Schmidt, R., Kapazitätsplanung, a.a.O., S. 84 f. u.S. 96 f.
- 22) Ackoff, R.L./Sasieni, M.W., Operations Research, a.a.O., S. 270.

Derartige Fälle werden wegen der komplexen mathematischen Probleme in diesem Abschnitt nicht behandelt. Ihre Lösung ist mit den anschließend dargestellten Simulationsmethoden möglich.

Zur weiteren Beschränkung des formalen Aufwandes wird alleine die multiple quantitative Anpassung untersucht.²³⁾ Von diesen Prämissen ausgehend ist zuerst ein einstufiges Elementarsystem zu beschreiben, um die Grundlagen für die anschließend analysierten mehrstufigen Modelle darzulegen.

4.2.1. Das einstufige Elementarmodell

Betrachtet werde zunächst ein Warteschlangenmodell mit einer einzigen Bearbeitungsstation, was einer einstufigen Fertigung bzw. der isolierten Betrachtung einer Fertigungsstufe entspricht, wobei diese Stufe nur über einen Potentialfaktor verfügt (Abb. 4.3). Die Aufträge treffen in Form einer Poissonverteilung mit einer mittleren Ankunftsrate $\bar{\lambda}$ ein und werden auf dem Potentialfaktor mit einer durchschnittlichen Bearbeitungsrate $\bar{\mu}$, die sich selbst wiederum aus einer Poissonverteilung ableitet, bearbeitet. Aus der sich bildenden Warteschlange wird jeweils der Auftrag ausgewählt, der als erster an der Maschine angekommen ist (first come - first served). Die Gleichung für die Berechnung



der mittleren Schlängellänge $\bar{n}_s$ (ohne die gerade in Bearbeitung befindlichen Aufträge)

lautet unter Verwendung der Verkehrsdichte ρ :²⁴⁾

-
- 23) Eine mutative Anpassung findet sich bei: Schmidt, R., Kapazitätsplanung, a.a.O., S. 115 ff.
- 24) Vgl. u.a.: Schmidt, R., Kapazitätsplanung, a.a.O., S.52; Churchman, C.W./Ackoff, R.L./Arnoff, E.L., Operations Research, a.a.O., S. 363.

$$(4.28) \quad \bar{n}_s = \bar{n} - g = \frac{g}{1-g} = \frac{g^2}{1-g} \quad \text{wobei}$$

$$(4.28a) \quad g = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{\mu}'}$$

Der für eine quantitative Anpassung relevante Fall, bei dem eine Fertigungsstufe aus einer größeren Anzahl von Potentialfaktoren besteht (Abb. 4.4), kann jedoch nicht mit dieser einfachen Gleichung (4.28) berechnet werden, da sich die gesamte Bedienungsrate der Fertigungsstufe nicht zu jedem Zeitpunkt als die Summe der einzelnen Bedienungsraten darstellen läßt. Die Gleichung (4.29)

$$(4.29) \quad \bar{\mu} = g \cdot \bar{\mu}'$$

hat nur Gültigkeit, wenn alle Maschinen mit Aufträgen belegt sind. Ist hingegen die

Zahl der sich im System befindlichen Aufträge (n) geringer als die Zahl der Bearbeitungsstationen, so variiert die gesamte Bedienungsrate mit der Zahl der Aufträge. In diesen Zeitpunkten gilt dann die Beziehung:²⁵⁾

$$(4.30) \quad \bar{\mu} = n \cdot \bar{\mu}'$$

Die mittlere Warteschlangenlänge $\bar{n}_s$ eines derartigen

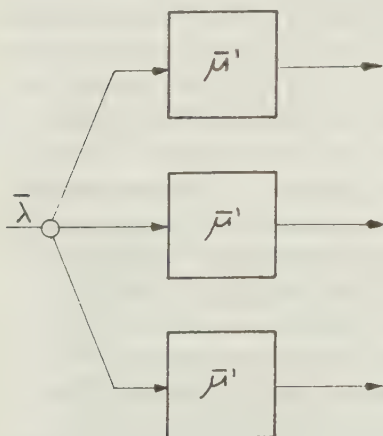


Abb.4.4

25) Vgl. Kern, W., Optimierungsverfahren, a.a.O., S. 93.

Systems wird durch die Gleichung (4.31) beschrieben²⁶⁾,

$$(4.31) \quad \bar{n}_s = \frac{\vartheta^{g+1} \cdot P_o}{(g-1)! (g-\vartheta)^2}$$

wobei die Wahrscheinlichkeit (P_o), daß sich kein Auftrag im System befindet, aus Gleichung (4.32) folgt.

$$(4.32) \quad P_o = \frac{1}{\frac{\vartheta^g}{g! (1-\mu)} + \sum_{n=0}^{g-1} \frac{\vartheta^n}{n!}}$$

Mit Hilfe dieser Gleichungen und den Beziehungen (4.25) bis (4.27) läßt sich das Kostenminimum und somit die optimale Kapazität eines einstufigen Fertigungsprozesses bestimmen, wobei dessen Lage bei gegebenen Ankunfts- und Bearbeitungsraten lediglich vom Kostenverhältnis der Potentialfaktorkosten zu den Wartekosten festgelegt wird. Die durchschnittlichen Verspätungskosten der Aufträge (Kostensatz $k_{wII}^{(i)}$) können bei diesem einstufigen Fertigungsprozeß eindeutig auf den Potentialfaktor bezogen werden, wobei der Kostensatz $k_{wII}^{(i)}$ vor allem bei einer Lieferzeitvorgabe durch marktnahe Abteilungen bedeutsam wird. Zieht man von diesem Zeitraum die durchschnittliche Bearbeitungszeit ab, so resultiert hieraus die durchschnittliche kritische Wartezeit. Die dieser Wartezeit entsprechende Auslastungsrate ϑ'_{krit} bildet die Grenze, ab deren Überschreitung Verspätungskosten aufgrund von Kundenabwanderungen oder Vertragsstrafen entstehen. Da zugleich hiermit der Übergang zu Gleichung (4.26a) bzw. (4.25) vollzogen wird, führt das geänderte Kostenverhältnis zu einer Vergrößerung der Kapazitäten und damit einer Senkung der Auslastung ϑ_i .

26) Für die Ableitung dieser Gleichung besteht eine große Fülle an Literatur. Hier sei nur verwiesen auf: Schmidt, R., Kapazitätsplanung, a.a.O., S.78 ff.; Churchman, C.W./Ackoff, R.L./Arnoff, E.L., Operations Research, a.a.O., S.368 ff.; Angermann, A., Entscheidungsmodelle, a.a.O., S.261 f.

4.2.2. Erweiterung zum Mehrstufenmodell

Die durch Mechanisierung und Spezialisierung der Produktion bewirkte Arbeitsteilung erfordert für die meisten Erzeugnisse einen mehrstufigen Produktionsprozeß. Ist die technologische Arbeitsfolge der Aufträge fixiert, so hängt der Nutzzeitbedarf einer derartigen Fertigungsstufe lediglich von der Zahl der Aufträge und deren Zusammensetzung ab.²⁷⁾ Bei der Organisationsform der Werkstattfertigung kann hierbei jeder Bearbeitungsauftrag von einer beliebigen Maschine (Stufe) x auf eine andere Maschine (Stufe) y übergehen. Die Wahrscheinlichkeit für diesen Übergang soll Q_{xy} betragen (Abb. 4.5), wobei der Wert dieser Übergangswahrscheinlichkeiten sowohl von der Auftragszusammensetzung als auch von der Fertigungsorganisation abhängt.²⁸⁾ Besitzen alle Q_{xy} in etwa den gleichen Wert, so liegt der allgemeinste Fall der Werkstattfertigung vor. Ist hingegen jedem Potentialfaktor x eine Übergangswahrscheinlichkeit Q_{xy} zugeordnet, die den Wert "1" enthält, so repräsentiert das System den Organisationstyp der Fließfertigung. Nach Jackson²⁹⁾, der ein derartiges Netzwerkmodell konzipiert

27) Hierbei wird unterstellt, daß zwar die Fertigungszeiten der Zwischenprodukte deterministisch sind, aber die unbekannte Auftragszusammensetzung eine Poissonverteilung der faktorbezogenen Bearbeitungszeit verursacht. Vgl. Fall 2 in Kapitel 4.1.1. dieser Arbeit.

28) Die Übergangswahrscheinlichkeit kann im stationären Zustand durch die Verteilungsfunktion der Basisprozesse ersetzt werden, da die Gesamtankunftsrate $\bar{\lambda}$ gemäß (4.32a) direkt in eine faktorbezogene Ankunftsrate transformiert werden kann.

$$(4.32a) \quad \bar{\lambda}_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot d(j) \cdot \bar{\lambda}$$

Im instationären Zustand ist noch die strukturelle Anordnung der Basisprozesse entscheidend.

29) Jackson, J.R., Networks of Waiting Lines, OR 1957 (5), S. 518 ff.

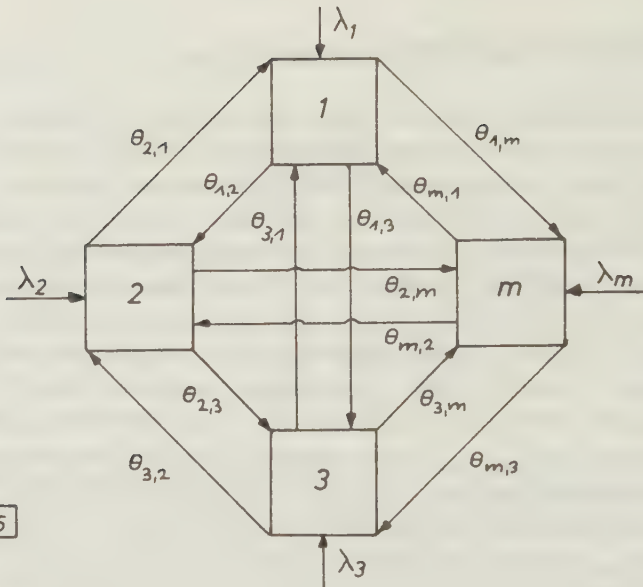


Abb. 4.5

hat, errechnet sich im Gleichgewichtszustand die mittlere Ankunftsrate beim Potentialfaktor m aus (4.33).

$$(4.33) \quad \Gamma_m = \lambda_m + \sum_{k=1}^g \theta_{km} \cdot \Gamma_k$$

Dieser mittleren Ankunftsrate Γ_m liegt nur dann wiederum eine Poissonverteilung zugrunde, wenn auch die von den anderen Potentialfaktoren eintreffenden Ankunftsrate Γ_k exponentialverteilt sind. Verfügen die einzelnen Fertigungsstufen k über mehrere gleiche Potentialfaktoren, so ist diese Bedingung nur dann erfüllt, wenn die Bedienungszeiten aller Potentialfaktoren einer Stufe k, von der Aufträge zur Stufe m übergehen (4.34)

$$(4.34) \quad \theta_{km} > 0$$

poissonverteilt sind.³⁰⁾ Schmidt weist darauf hin, daß bei

30) Vgl. Schmidt, R., Kapazitätsplanung, a.a.O., S. 218.

ungleichen Bedienungsraten einer Fertigungsstufe k zugleich noch die Belegungsregel "Zufall" angewandt werden muß.³¹⁾

Nur unter diesen Prämissen können die einzelnen Fertigungsstufen als unabhängige Systeme aufgefaßt und jeweils mit Hilfe der Gleichung (4.31) isoliert optimiert werden.³²⁾

Interdependente Mehrstufenmodelle führen bei analytischer Betrachtung zu äußerst komplexen Ansätzen, so daß Lösungen nur für Spezialfälle existieren.³³⁾ Für ihre Behandlung bietet sich daher das Verfahren der Simulation an, welches im folgenden Abschnitt untersucht wird.

Die isolierte Optimierung der einzelnen Fertigungsstufen mittels der Gleichung (4.25) bis (4.27) setzt voraus, daß sich die hierin enthaltenen Kostensätze stufenspezifisch ermitteln lassen. Unter der Voraussetzung einer multiplen quantitativen Anpassung bereitet die Ermittlung der Potentialfaktorkosten keine neuen Probleme. Auch der Zins- und Lagerkostensatz der den einzelnen Fertigungsstufen zugeordneten Zwischenlager entspricht in seiner Ermittlung grundsätzlich dem einstufigen Modellfall. Probleme ergeben sich jedoch bei der Zuordnung der entstehenden Verspätungskosten auf die einzelnen Fertigungsstufen.

Verspätungskosten fallen an, wenn die Durchlaufzeit eines Auftrages eine bestimmte "Toleranzschwelle" erreicht. Ist diese Toleranzgrenze, wie bei Festlegung von Konventionalstrafen, aushandelbar und verfügt das Produktionsunternehmen

31) Vgl. Schmidt, R., Kapazitätsplanung, a.a.O., S. 226.

32) Schmidt führt noch den Spezialfall an, daß sich ein mehrstufiges System auf ein einstufiges Modell reduzieren läßt. Dies ist möglich, wenn alle Stufen von einer Stufe dominiert werden. Vgl. Schmidt, R., Kapazitätsplanung, a.a.O., S. 221 ff.; Friedman, H.D., Reduktion Methods for Tandem Quening Systems, OR 1965 (13), S. 121 ff.

33) So z.B. das Problem der Optimierung von Fertigungsketten nach Schmidt, R., Kapazitätsplanung, a.a.O., S. 227.

über eine starke Machtstellung, so kann es zunächst die Kapazitäten ohne Berücksichtigung dieser Kosten festlegen. Die Toleranzgrenze ist dann auf dem Markt so durchzusetzen, daß sie die Summe der durchschnittlichen Bearbeitungs- und der Wartezeiten um ein Sicherheitsäquivalent überschreitet.

Wird jedoch die Toleranzgrenze vom Markt vorgegeben, so ist die verfügbare Gesamtwartezeit der einzelnen Aufträge auf die Fertigungsstufen aufzuteilen. Eine derartige Aufspaltung der Wartezeit kann jedoch nicht kausal erfolgen, sondern ist als autonome Entscheidung aus der Sicht der jeweiligen Zielfunktion zu treffen. Da bei einer quantitativen Anpassung die Kapazitätskosten mit dem Zeitverzehranteil ($k_f^{(i)} \cdot \gamma_i$) ansteigen, erscheint es plausibel, daß eine kostenminimale Anpassung dann erreicht wird, wenn man die kritische Gesamtwartezeit der einzelnen Aufträge den jeweiligen Fertigungsstufen im Verhältnis ihrer zeitverzehrbedingten Kosten ($k_f^{(i)} \cdot \gamma_i$) zuordnet.

Hierdurch werden die Faktoren stärker ausgelastet, die einem verhältnismäßig großen Zeitverzehr unterliegen, während bei den anderen Faktoren die Wartezeit (Durchlaufzeit) an Bedeutung gewinnt. Bei Überschreitung der stufenbezogenen, durchschnittlichen Toleranzgrenzen entstehen dann, laut obiger Annahme, proportionale Verspätungskosten.³⁴⁾

Die Leistungsquerschnitte innerhalb eines Unternehmens sind optimal angepaßt, wenn die Warteschlangendifferenz dem Ver-

34) Vgl. Kern, W., Optimierungsverfahren, a.a.O., S. 102. Die Entstehung der Verspätungskosten setzt voraus, daß die insgesamt verfügbare Wartezeit überschritten wird. Einer isolierten Optimierung der einzelnen Fertigungsstufen liegt daher implizit die Annahme zugrunde, daß auf allen anderen Stufen die kritische Warteschlangenlänge mindestens erreicht ist. Ist dies nicht der Fall, so ist in einer zweiten Berechnung die kritische Gesamtwartezeit lediglich auf die Faktoren aufzuteilen, bei denen diese Warteschlangenlänge übertroffen wird.

hältnis der Kapazitäts- und Wartekostensätze entspricht (Gleichung (4.25) bis (4.27)). Bei gleichen Wartekosten wird also das Optimum nur von den zeitverzehrbedingten Kapazitätskosten der einzelnen Stufen bestimmt. Zugleich wird deutlich, daß sich ein Unternehmen mit um so geringerer Inkaufnahme von Verspätungskosten an Änderungen der Toleranzgrenze anpaßt, je geringer bei gleich großen Leistungseinheiten der zeitverzehrbedingte Kostenanteil der Produktion ist.

4.3. Simulationsmodelle

Die Einsatzmöglichkeiten analytischer Methoden zur Abstimmung der Leistungsquerschnitte sind stark begrenzt, wenn die bisher unterstellten Prämissen nicht mehr zutreffen, da für viele Probleme Lösungen in analytischer Form nicht mehr existieren bzw. analytische Methoden schnell zu sehr komplexen und äußerst rechenaufwendigen mathematischen Modellen führen. Dies ist vor allem der Fall, wenn³⁵⁾

1. den Wahrscheinlichkeitsvorstellungen keine exponentiellen Verteilungsfunktionen entsprechen,
2. die Ankunftsraten und/oder die Bedienungsraten Funktionen zusätzlicher Parameter sind (z.B. Zeit, Schlängellänge usw.),
3. die Warteschlangendisziplin von der FCFS-Regel (first come - first served) abweicht und
4. neben der multiplen quantitativen Anpassung noch andere Anpassungsformen möglich sind.

Zur Behandlung derartiger Realprobleme eignet sich die Simulation, die Walther als experimentelle Mathematik be-

35) Vgl. Kern, W., Optimierungsverfahren, a.a.O., S. 102.

zeichnet.³⁶⁾ In gleicher Weise definiert Müller-Merbach die Simulation als "zielgerichtetes Experimentieren an Modellen, die der Wirklichkeit nachgebildet sind"³⁷⁾.

4.3.1. Die Bestimmung der Auftragsfolge

Stochastische Produktionssysteme, deren Wahrscheinlichkeitsfunktionen sich nicht mehr durch Exponentialfunktionen darstellen lassen, stoßen an die Grenze der Analytik³⁸⁾, weswegen Probleme dieser Art zu ihrer Lösung der Simulationstechnik bedürfen. Über die Erzeugung von Zufallszahlen (Monte-Carlo-Methode) können hierbei alle beliebigen Verteilungsfunktionen abgebildet werden. Mertens beschreibt dieses Vorgehen wie folgt:³⁹⁾

"Ereignisse und deren Parameter werden durch Zufallszahlen repräsentiert. Dabei wird das Spektrum der Zufallszahlen so aufgeteilt, daß jeder Teil des Spektrums, der einem bestimmten Ereignis (Parameter) zugeordnet ist, in einem solchen Verhältnis v zum Gesamtspektrum steht, daß v gleich der Wahrscheinlichkeit w ist, mit der das Ereignis (Parameter) vorkommt."

Mittels dieser Zufallszahlentechnik läßt sich nun die durchschnittliche Ankunftsrate (Abfertigungsrate) sowie vor allem die mittlere, stationäre Warteschlangenlänge ermitteln, wenn man die Berechnung für einen genügend langen Zeitraum durchführt. Auf der Grundlage der Gleichungen (4.25) bis (4.27) kann dann das Kapazitätsoptimum ermittelt werden. Die Anwendung der Simulationstechnik führt somit zu einer

36) Walther, A., Wechselbeziehungen zwischen Rechenautomaten und Operational Research, in: Ablauf- und Planungsforschung 4 (1963), H.1, S. 146-157.

37) Müller-Merbach, Operations Research, a.a.O., S. 451; vgl. auch: Mertens, P., Simulation, a.a.O., S. 7.

38) Vgl. Schmidt, R., Kapazitätsplanung, a.a.O., S. 22.

39) Mertens, P., Simulation, a.a.O., S. 14.

Ausweitung der stationären Betrachtungsweise auch auf nicht exponentielle Verteilungsfunktionen.

Eine weitere wesentliche Erweiterung des Anwendungsbereiches erreicht die Simulationstechnik hinsichtlich des Systemverhaltens, da sie den Systemzustand in jedem Zeitpunkt beschreiben kann. Hierdurch eignet sie sich insbesondere für Probleme,

- a) die wegen evolutorischer Einflußgrößen einen stationären Zustand nicht oder erst relativ spät erreichen⁴⁰⁾ oder
- b) bei denen gerade der nichtstationäre Zustand interessiert.

Da vor allem die Auftragseingänge oft Saisonschwankungen und/oder Trendbewegungen folgen, ist für eine Analyse dieser Probleme die Simulationstechnik prädestiniert.

Eine produktionstheoretische Fundierung derartiger Warteschlangenmodelle ist jedoch nicht mehr mit Hilfe der in Gleichung (4.1) und (4.2) dargestellten statischen Form der Produktionsfunktion vom Typ C möglich. Vielmehr muß als Basis die periodenbezogene Form der dynamischen Produktionsfunktion (1.36; 1.37) herangezogen werden. Die Wartezeit kommt dann in einer Vergrößerung der Vorlaufzeitkoeffizienten zum Ausdruck, wobei diese ceteris paribus durch die Faktorquantitäten determiniert werden⁴¹⁾. Die durchschnittliche Länge der Warteschlange $\bar{n}_S$ vor dem Potentialfaktor i in der Periode x kann bei gegebenen Faktorquantitäten durch die folgende allgemeine Funktion (4.35) abgebildet werden:⁴²⁾

40) Vgl. Ackoff, R.L./Sasieni, M.W., Operations Research, a.a.O., S. 280.

41) Als konstante Warteschlangendisziplin wird die FCFS-Regel zugrunde gelegt.

42) Die Vorlaufzeitkoeffizienten werden durch die Wartezeitkomponente so angepaßt, daß die Kapazitätsrestriktion in jedem Zeitpunkt (bzw. Periode) erfüllt ist.

$$(4.35) \quad \bar{n}_{Six} = f(\bar{n}_{Si,x-1}, \bar{\mu}_{i,x-1}, \tau_{ij}, g_{ix}, \lambda_{jx})$$

für $j = 1$ bis m

wobei

$\bar{\mu}_{i,x-1}$ = die durchschnittliche Bedienungsrate
der $\bar{n}_{Si,x-1}$ Aufträge ($\frac{\bar{n}_{Si,x-1}}{\bar{\mu}_{i,x-1}}$ = be-
reits reservierter Belegungszeitraum)

τ_{ij} = Nutzzeitbedarf der Kombination j auf
Potentialfaktor i

λ_{ijx} = durchschnittliche Ankünfte der Kombi-
nationen j beim Faktor i in der Pe-
riode x

g_{ix} = Zahl der Potentialfaktoreinheiten der
Gruppe i in Periode x

Sind die Kostensätze ($k_f^{(i)}$; $k_w^{(i)}$) der einzelnen Perioden
gleich groß⁴³⁾, so ergibt sich für eine Faktorart i die op-
timale Kapazitätsausstattung des Planungszeitraumes analog
(4.25) bis (4.27) aus der Bedingung (4.36).

$$(4.36) \quad \sum_x Y_{ix} = \sum_x \bar{n}_{Six}(g_i) - \sum_x \bar{n}_{Six}(g_i+1) \quad \text{wobei}$$

Y_{ix} = das für die Periode x zutreffende Ko-
stenverhältnis der Gleichungen (4.25)
bis (4.27)

43) Hier wurde unterstellt, daß die Potentialfaktoren je-
weils für den gesamten Planungszeitraum eingesetzt sind.
Soll die Zahl der Potentialfaktoren über der Zeit ver-
änderlich sein, so ist der zeitverzehrbedingte Anteil
der Potentialfaktorkosten (4.17) eine Funktion der Fak-
toreinsatzzeit. Dies kompliziert zwar den mathemati-
schen Formalismus, ändert aber nicht das Prinzip.

Die Funktion (4.35) zur Berechnung der periodenbezogenen Warteschlangen ist für ein mehrstufiges Modell nur dann anwendbar, wenn die einzelnen $\bar{\lambda}_{ijx}$ voneinander vollkommen unabhängig sind. Gerade dies ist jedoch im instationären Fall nicht mehr gewährleistet,⁴⁴⁾ da hier die Ankünfte derivativer Produktionsfaktoren von der jeweiligen Belastungssituation der vorgelagerten Produktionsstufe abhängen. Die Simulation eines derartigen instationären Mehrstufenmodells muß daher die technologische Bearbeitungsfolge eines Auftrages mitberücksichtigen, so daß Verteilungsfunktionen nur mehr für die Auftragsankünfte von Fertigprodukten Verwendung finden. Das auf diese Weise simulierte Fertigungsprogramm erfährt daher eine deterministische Auflösung mit Hilfe der Netzplantechnik⁴⁵⁾, so daß der Strukturzusammenhang der Aufträge zu jedem Zeitpunkt ersichtlich ist. Das Planungsmodell enthält lediglich noch durch die Erzeugung des Fertigungsprogrammes eine stochastische Komponente⁴⁶⁾, während für die weitere Planung die Daten als deterministisch zugrundegelegt werden. Die Simulation führt in diesem Fall zu einer Annäherung von stochastischen und deterministischen Produktionsplanungsmodellen.

4.3.2. Die Warteschlangendisziplin als Determinante des Systems

Alle bisher durchgeführten Betrachtungen zur Warteschlangentheorie basierten auf der Annahme, daß die Aufträge in der Reihenfolge bearbeitet werden, in der sie vor der Bearbei-

44) Bei der Darstellung der Formel (4.33) wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, daß diese nur für den Gleichgewichtszustand gültig ist.

45) Siehe Kapitel 3.3. dieser Arbeit.

46) Die Aktivitätszeiten und Aktivitätsfolgen können ebenfalls stochastisch erzeugt werden. Sie gelten dann aber als "eingefroren" und werden als deterministisch angesehen.

tungsstation eintreffen. Diese reine Zufallsregel⁴⁷⁾ führt wohl in den seltensten Fällen zu einer zielorientierten Belegung der Potentialfaktoren.

Strebt man eine exakte Ermittlung der optimalen Kapazitätsbelegung an, so stehen nur kombinatorische Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung, die jedoch bereits bei minimalem Datenumfang einen beträchtlichen Rechenaufwand erfordern. Über die Einführung schematischer Prioritätsregeln versucht man daher, sich mit vertretbarem Aufwand einem Optimum zu nähern. Da dies in analytischer Form nicht möglich ist, bleibt nur die Simulationstechnik zur systematischen Untersuchung dieser Systemdeterminante.⁴⁸⁾ Hoss weist darauf hin, daß ein derartiges Simulationsmodell zwei Zwecken dienen kann:⁴⁹⁾

- "1. Als reines Erkenntnisprojekt zur vergleichsweisen Erprobung der Wirksamkeit von Prioritätsregeln,
2. als Planungsmodell zur angenäherten Optimierung des Fertigungsablaufs. In diesem Falle ist das Simulationsmodell identisch mit einem Planungsmodell (d.h. Simulator = Planer)."

Die zahlreichen Abhandlungen unterstreichen, welche große Bedeutung die Simulationstechnik gerade auf diesem Gebiete erlangt hat.⁵⁰⁾ So sei lediglich darauf hingewiesen, daß

47) Vgl. Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 139.

48) Vgl. Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S.158 ff.; Falkenhausen, H.v./Keck, H., Prioritätsregel bei der Ablaufplanung, a.a.O., S. 230.

49) Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 158.

50) Vgl. u.a. Keck, H., Vergleich von Prioritätsregeln mit Hilfe der Simulation. Eine Literaturübersicht, in: Busmann, K.F./Mertens, P. (Hrsg.), Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung, Stuttgart 1968, S. 230-249; Conway, R.W./Johnson, B.M./Maxwell, W.L., An Experimental Investigation of Priority Dispatching, J.I.E. 1960 (11), S. 221-229; Conway, R.W./Maxwell, W.L., Network Dispatching by the Shortest Operation Discipline, OR 1962 (10), S. 51-73.

die "kürzeste-Operationszeit-Regel" sowie mit ihr verbundene Prioritätskombinationen bei der Verkürzung der Durchlaufzeiten im allgemeinen die günstigsten Ergebnisse erzielt haben.⁵¹⁾

4.3.3. Abstimmung der Leistungsquerschnitte durch quantitative Anpassung

In der analytischen Form der Warteschlangentheorie läßt sich die optimale Maschinenzahl des stationären Systems explizit aus den Gleichungen (4.25) bis (4.27) in Verbindung mit der Gleichung (4.31) errechnen. Ein derartiges Vorgehen ist bei Simulationsrechnungen nicht mehr möglich.

Befindet sich ein Simulationsmodell im stationären Zustand, so können die einzelnen Potentialfaktorgruppen unabhängig voneinander optimal dimensioniert werden. Hierzu wird der Faktorbestand einer Potentialfaktorgruppe solange parametrisch variiert, bis die variationsbedingte Warteschlangendifferenz den Kostenverhältnissen der Gleichung (4.25) bis (4.27) entspricht. Der Rechenaufwand ist hierbei um so geringer, je näher bereits die jeweils geschätzte Ausgangslösung am Optimum liegt.

Bei Optimierungen mehrstufiger instationärer Simulationsmodelle nimmt der Rechenaufwand aufgrund der Interdependenz der Leistungsquerschnitte beträchtlich zu. Die Vergrößerung des Leistungsquerschnittes einer Faktorgruppe und eine hiermit verbundene Verringerung der zugehörigen Warteschlange kann bei nachgeschalteten Faktorgruppen eine Vergrößerung der Warteschlangen bewirken. Es ist daher nicht mehr zulässig, die Warteschlangen der einzelnen Faktorgruppen isoliert zu behandeln. An die Stelle der faktorbezogenen War-

51) Vgl. Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 162.

tezeit tritt vielmehr die Summe der Wartezeiten des gesamten Produktionssystems, die sich bei bekannten Produktionszeiten aus der Summe der Durchlaufzeiten der Aufträge ableiten lassen. Die Optimalitätsbedingung nimmt dann die Form (4.37) an.

$$\begin{aligned}
 (4.37) \quad \sum_x Y_{i,x} &= \sum_{i,x} \bar{n}_{Six}(\bar{g}_i) - \sum_{i,x} \bar{n}_{Six}(\bar{g}_i+1) \\
 &= \sum_{i,x} (\bar{n}_{ix}(\bar{g}_i) - T_{iNx}) - \sum_{i,x} (\bar{n}_{ix}(\bar{g}_i+1) - T_{iNx}) \\
 &= \sum_{i,x} \bar{n}_{ix}(\bar{g}_i) - \sum_{i,x} \bar{n}_{ix}(\bar{g}_i+1)
 \end{aligned}$$

wobei

$$\begin{aligned}
 \bar{g}_i &= \text{konstante Zahl der Einheiten der Faktorgruppe } i \\
 \bar{n}_{ix}(\bar{g}_i) &= \text{mittlere Verweilzeit (Wartezeit und Bearbeitungszeit) aller Aufträge bei der Faktorgruppe } i \text{ in der Periode } x, \text{ wenn die Faktorgruppe über } \bar{g}_i \text{ Einheiten verfügt} \\
 T_{iNx} &= \text{gesamte Nutzzeit der Faktorgruppe } i \text{ in der Periode } x \\
 Y_{i,x} &= \text{das für die Periode } x \text{ zutreffende Kostenverhältnis der Gleichungen (4.25) bis (4.27)}
 \end{aligned}$$

Kumuliert man die mittlere Verweilzeit sämtlicher Aufträge über allen Faktorgruppen und allen Perioden, so erhält man die gesamte Durchlaufzeit aller Aufträge des Planungszeitraumes. Die mittlere Durchlaufzeit (DLZ) leitet sich dann aus Gleichung (4.38) ab.⁵²⁾

52) Es muß sich um einen geschlossenen Planungszeitraum handeln, bei dem keine Auftragsüberhänge aus oder in andere Perioden bestehen

$$(4.38) \quad \overline{DLZ} = \frac{\sum_{i,x} \bar{n}_{ix}}{\sum_{i,x} J_x}$$

wobei J_x = Zahl der Aufträge der Periode x

Bei der Optimierung des Produktionssystems ist zu untersuchen, inwieweit sich die Durchlaufzeit der Aufträge ändert, wenn der Bestand einer Faktorgruppe unter Konstanz der Quantitäten aller anderen Faktorgruppen um eine Einheit variiert wird. Für jede parametrische Variation muß hierbei eine neue Terminierungsrechnung durchgeführt werden. Diejenige Faktorgruppe, bei der durch eine derartige Variation die größte Kostensenkung erzielt wird, ist um eine Einheit zu vermehren bzw. verringern. Diese Methode des steilsten Anstieges⁵³⁾ wird solange durchgeführt, bis eine weitere Senkung der Kosten nicht mehr möglich ist.

Bei stark verflochtenen Produktionssystemen, bei denen ein Großteil der Aufträge die gleichen Faktorgruppen in der gleichen Reihenfolge in Anspruch nimmt, kann eine Vergrößerung der Leistungsquerschnitte einzelner Faktorgruppen zu einem starken Anwachsen der Warteschlangen bei anderen Faktoren führen, so daß eine Änderung der Durchlaufzeit auf diese Weise nicht zu erreichen ist.⁵⁴⁾ Die Durchlaufzeit ist hier nur dann variierbar, wenn gleichzeitig mehrere Faktorgruppen angepaßt werden. Zu diesem Zweck ist bei jeder Änderung des Faktorbestandes die Entwicklung der Warteschlangen sämtlicher anderer Faktorgruppen zu untersuchen, wobei die Faktorgruppe, deren Warteschlange am stärksten anwächst, dann zugleich um eine Einheit variiert wird. Erreicht man durch eine derartige "Anpassungskette" keine Kostensenkung,

53) Vgl. Mertens, P., Simulation, a.a.O., S. 31.

54) Dies ist z.B. der Fall beim Organisationstyp der Fließfertigung. Hier führt nur eine gleichzeitige Variation aller Faktorgruppen zu einer Veränderung der Durchlaufzeit.

so ist deren Erweiterung anzustreben. Ist eine solche Verlängerung nicht möglich, dann wird bei einer anderen Faktorgruppe der Aufbau einer neuen Kette begonnen.

Dieser wegen der jeweils erforderlichen Terminrechnungen beträchtliche Rechenaufwand läßt sich verringern, wenn man

- a) bereits durch Schätzung eine möglichst gute Ausgangslösung erreicht und
- b) Kettenbildung nur für bestimmte Faktorgruppen zuläßt, die man aufgrund des Leistungszusammenhanges a priori bestimmen kann.

Mit Hilfe der Simulationstechnik können neben der quantitativen Anpassung auch beliebige andere Anpassungsformen ohne großen mathematischen Formalismus angewandt werden. So kann man z.B. zunächst lediglich eine quantitative Grob- abstimmung vornehmen, während eine Feinanpassung mittels der zeitlichen und intensitätsmäßigen Instrumente durchgeführt wird. Eine Beschränkung bildet jedoch auch hier der Rechenaufwand, der allerdings durch die Weiterentwicklung der Rechenanlagen verringert wird.

5. OPTIMALE VERTEILUNG DER PRODUKTIONSFAKTOREN AUF DIE EINHEITEN EINES BETRIEBSSYSTEMS

Die Methoden der Kapazitätsplanung sind in dieser Arbeit bisher ausschließlich auf die zielgerichtete Abstimmung von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot innerhalb eines einzelnen Betriebes angewandt worden. Umfaßt jedoch eine Unternehmung ein System von Betrieben, so führt eine isolierte Planung meist nicht zum Optimum. Vielmehr erfordert eine derartige zelluläre Anpassung¹⁾ die Beachtung vorhandener, zielrelevanter Abhängigkeiten.

Gemäß der allgemeinen Systemdefinition²⁾ beinhaltet ein Betriebssystem eine Menge einzelner Betriebe, die durch Beziehungen miteinander verbunden sind. Die Aufgliederung eines Unternehmens in derartige Betriebselemente kann eine Hierarchie externer und interner Systeme sichtbar machen, wobei selbständige Teilbetriebe, Zweigniederlassungen und Filialen als Elemente externer Betriebssysteme, selbständige Fertigungsgruppen bei der Organisationsform der Gruppenfertigung als Elemente interner Systeme aufgefaßt werden können. Ein derartiges Betriebselement enthält jeweils die gesamte transportable und nicht-transportable Faktorenausstattung.

Die Beziehungen zwischen diesen einzelnen Elementen entstehen durch die Konkurrenz um gleichartige, transportable Potentialfaktoreinheiten, die zwischen den Betriebselementen verlagert werden können.³⁾ Um das Modell zur Beschränkung der Komplexität linear formulieren zu können, sind die einzelnen

1) Vgl. Busse von Colbe, W., Die Planung der Betriebsgröße, a.a.O., S. 116.

2) Vgl. Fuchs, H., Systemtheorie, in: Grochla, E. (Hrsg.), Handwörterbuch der Organisation, Stuttgart 1969, Sp.1620.

3) Im dualen Verteilungsproblem würden die einzelnen Bearbeitungsaufträge die Verteilungsvariable darstellen.

Betriebselemente so abzugrenzen, daß der Faktorbedarf eines Betriebes unabhängig von der Faktorausstattung eines anderen Betriebes ermittelt werden kann. Diese Forderung impliziert, daß jede Betriebseinheit ihre originären Produktionsfaktoren direkt vom Markt bezieht (nicht von anderen Betriebseinheiten).

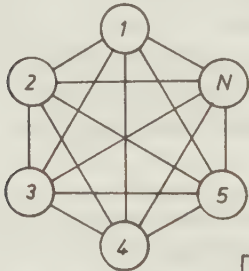


Abb.5.1

Das Betriebssystem kann nun als vollständiger Graph⁴⁾ dargestellt werden, worin die Knoten die Betriebselemente und die Kanten die Faktoraustauschbeziehungen symbolisieren (Abb. 5.1).

5.1. Prämissen für das Auftreten des Verteilungsproblems und Formulierung der Ziele

Die Transportfähigkeit der Potentialfaktoreinheiten, die von deren Volumen und Gewicht, von den Installationsverhältnissen und von der Unempfindlichkeit gegenüber Transportbewegungen bestimmt wird, ist als Grundvoraussetzung dieser Systemplanung bereits genannt worden. Um diese Austauschmöglichkeit realisieren zu können, ist der Einsatz eines hinreichenden Transportsystems zur Überwindung der räumlichen Distanz erforderlich. Transportfähigkeit und Transportsystem sind somit die Determinanten für das Angebot an Kapazitätsaustauschbeziehungen.

Auf der Nachfrageseite setzt das Zustandekommen von Austauschbeziehungen voraus, daß verschiedene Betriebselemente

4) Vgl. Müller-Merbach, H., Operations Research, a.a.O., S. 238.

innerhalb des Planungszeitraumes um gleiche Potentialfaktoren konkurrieren. Diese Konkurrenz läßt sich für jede Potentialfaktorart mit Hilfe einer Kapazitätsbedarfsmatrix (Abb. 5.2) aufzeigen, wobei diejenigen Betriebseinheiten als Elemente des Planungssystems ausscheiden, deren Zeile nur Null-Elemente enthält.

Abb. 5.2

Perioden t=1 i=1 bis n bis n Elemente t=1 bis i	1 2 3 . r	Periodenmaxima MAX b_i für t = 1 bis r
1	b_{11} b_{12} b_{13} . b_{1r}	MAX b_1
2	b_{21} b_{22} b_{23} . b_{2r}	MAX b_2
3	b_{31} b_{32} b_{33} . b_{3r}	MAX b_3
.		
n	b_{n1} b_{n2} b_{n3} . b_{nr}	MAX b_n
Summen- bedarf B_t $\sum_{j=1}^n b_{it}$	B_1 B_2 B_3 . B_r	$B(S) = \sum_{j=1}^n \text{MAX } b_i$ $= B(J)$ MAX B_t

Betrachtet man den Kapazitätsbedarf als gegeben⁵⁾, so ist bei einer isolierten Planung der maximale Periodenbedarf (MAX b_i) eines jeden Betriebselementes i zu befriedigen. Der Kapazitätsbedarf $B^{(J)}$ für das gesamte Betriebssystem folgt dann aus der Gleichung (5.1).

$$(5.1) \quad B^{(J)} = \sum_{i=1}^n \left[\text{MAX } b_i \text{ für } t = 1 \text{ bis } r \right]$$

5) Diese Bedingung wird in Kapitel 5.2.3. abgewandelt.

Werden hingegen Austauschbeziehungen zugelassen, so ist nur der jeweilige Kapazitätssummenbedarf B_t der einzelnen Perioden zu decken. Der Gesamtkapazitätsbedarf $B^{(s)}$ entspricht bei dieser Systemplanung dem maximalen Perioden-summenbedarf (5.2).

$$(5.2) \quad B^{(s)} = \text{MAX} \left(\sum_{i=1}^n b_{it} \right) \quad \text{für } t=1 \text{ bis } r$$

Es kann nun leicht nachgewiesen werden, daß die Differenz des Gesamtkapazitätsbedarfes beider Planungsmethoden ($B^{(J)} - B^{(s)}$) sich auflöst, wenn die Periodenmaxima sämtlicher Elemente in einer Periode r^* auftreten (5.3).

$$(5.3) \quad B^{(s)} = \text{MAX} \left(\sum_{j=1}^n b_{jt} \right) = \sum_{j=1}^n b_{jr^*} = \sum_{j=1}^n \text{MAX}_{t=1}^r b_{jt} = B^{(J)}$$

Da in diesem speziellen Fall für eine Faktorverlagerung keine Veranlassung besteht, erzielt eine isolierte Planung das gleiche Ergebnis wie eine Systemplanung. Neben dem Bedarf nach gleichen Potentialfaktoren bestimmt demnach auch dessen zeitliche Verteilung die Intensität des Kapazitätsaustausches.

Probleme bei der Planung des Kapazitätsaustausches können durch die spezifischen Eigenarten des Faktors Arbeit entstehen. Ist es wegen der geringen Standortflexibilität von Personen nicht möglich, diese zwischen weiterentfernten Betriebselementen zu versetzen, so ist an den jeweiligen Betriebsorten eine sehr elastische Angebotsstruktur des Faktors Arbeit erforderlich. Da eine derartige Flexibilität nur in Ausnahmefällen anzutreffen ist, müßte durch die Ausbildung von Springern und den Einsatz einer möglichst langfristigen Personalplanung eine Deckung des Personalbedarfes

sämtlicher Perioden sichergestellt werden.⁶⁾

Die Verteilung der Potentialfaktoren soll unter der Zielsetzung der Maximierung des Unternehmensgewinnes erfolgen, was bei gegebenem Produktionsprogramm mit der Minimierung der Kosten des Gesamtsystems gleichbedeutend ist. Diese Gesamtkosten können in die Kapazitätskosten, die Transportkosten und die Bedarfsanpassungskosten zerlegt werden (Abb. 5.3), wobei jeder dieser Kostenblöcke eine große Zahl von Einflußgrößen beinhaltet.⁷⁾ Da zwischen diesen Komponenten wechselseitige Abhängigkeiten bestehen, kann das Optimum nur mittels simultaner Entscheidungsmodelle ermittelt werden.

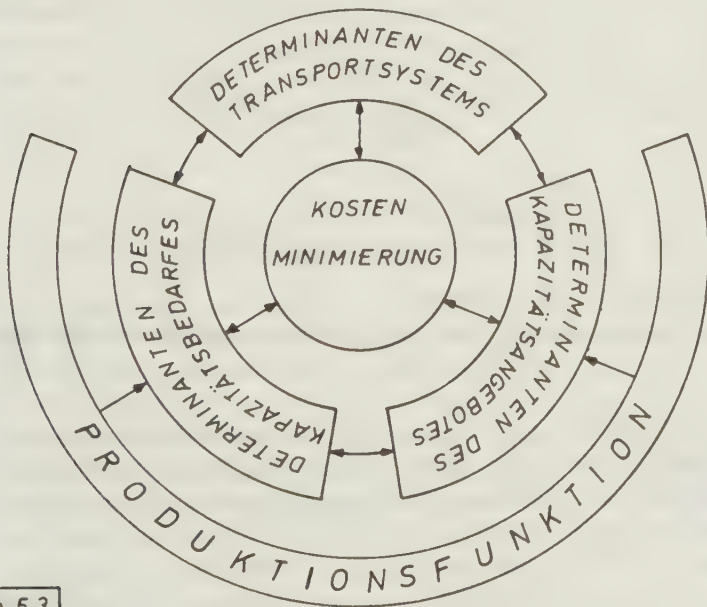
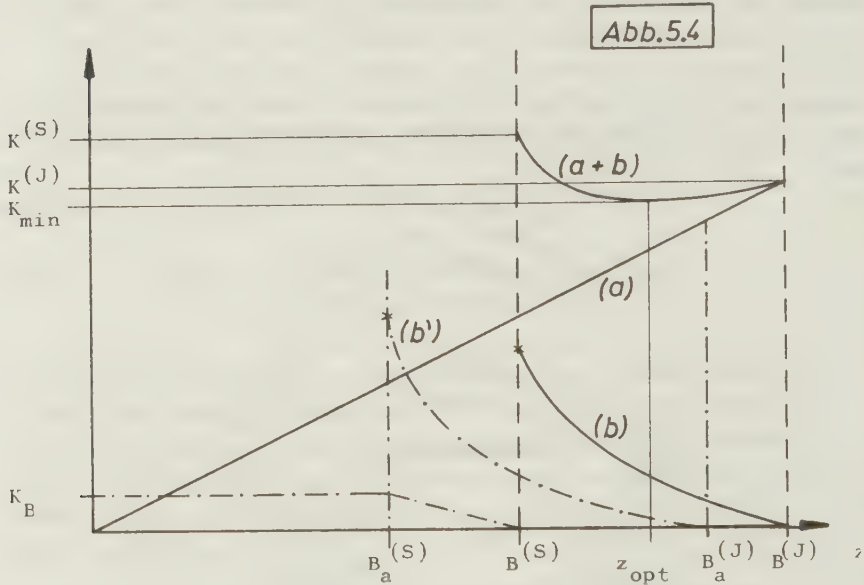


Abb. 5.3

6) Andernfalls wäre durch Nebenbedingungen zu gewährleisten, daß die Zahl der Arbeitsplätze den Personalstand nicht übersteigt.

7) Vgl. hierzu die Kapitel 3.4. sowie 3.5. dieser Arbeit.

Betrachtet man die zeitliche Verteilung des Kapazitätsbedarfes der einzelnen Betriebselemente zunächst als "eingefroren" und läßt nur eine quantitative Kapazitätsanpassung zu, so zeigen die Funktionen der Transport- (b) und Potentialfaktorkosten (a) den in Abb. 5.4 dargestellten Verlauf.⁸⁾



Da bei einer isolierten Planung ($B^{(J)}$) keine Transportkosten entstehen, gibt die Größe $K^{(J)}$ deren Gesamtkosten wieder. Versucht man hingegen, den Kapazitätsbedarf durch die Anwendung der Systemplanung mit dem absoluten Potentialfaktorminimum ($B^{(S)}$) zu decken, so führt dies wegen der zahlreichen Transportbewegungen zu einem progressiven Ansteigen

8) Die Kurve der Potentialfaktorkosten ist hierbei als Verbindungslinie diskreter Punkte anzusehen, da nur ganzzahlige Lösungen zulässig sind. Zugleich wird unterstellt, daß nur zeitabhängiger Verzehr wirksam wird (vgl. Kap. 2.3.1.1. dieser Arbeit).

der Transportkostenkurve (b). Die Gesamtkosten (a+b) erreichen dann die Höhe $K^{(s)}$. Das Kapazitätsoptimum (z_{opt}) liegt dort, wo die entgegengerichteten Steigungen der beiden Kurven (a+b) gleich groß sind (5.4).

$$(5.4) \quad \frac{da}{dz} = - \frac{db}{dz}$$

Durch den Einsatz der produktionstheoretischen Anpassungsinstrumente kann es gelingen, die zeitliche Verteilung des Potentialfaktorbedarfes derart abzuändern, daß der jeweilige Gesamtkapazitätsbedarf auf $B_a^{(J)}$ bzw. $B_a^{(s)}$ vermindert wird. Gemeinsam mit den hieraus resultierenden Anpassungskosten K_B und der Transportkostenfunktion $b'(z)$ ist dann das neue Kostenminimum K_{min}^a zu ermitteln. Das absolute Gesamtkostenminimum ist erreicht, wenn die Summe der Steigungen der drei Kostenarten den Wert "Null" annimmt.

5.2. Die Konzipierung von Entscheidungsmodellen zur Lösung des dynamischen Verteilungsproblems

Zur optimalen, mehrperiodigen Verteilung der Potentialfaktoren auf die Einheiten eines Betriebssystems stehen die Verfahren der dynamischen Planungsrechnung sowie der linearen Programmierung zur Verfügung. Da der Aufwand für die Lösung von Entscheidungsbaumverfahren jedoch sehr groß ist, wird die Linearität des Modelles angestrebt, um eine, wenn auch nur näherungsweise, Lösungsmethode¹⁰⁾ zu erhalten.

9) Vgl. Kapitel 1.4. und 3.4. dieser Arbeit.

10) Vgl. hierzu Judin, D.B./Golstein, E.G., Lineare Optimierung I, Berlin 1968, S. 142.

5.2.1. Dynamisches Grundmodell ohne Begrenzung der Systemkapazität

Ist die vorhandene Gesamtkapazität Z_k der Faktorart k größer als der maximale Mindestbedarf $B_k^{(s)}$, der sich bei Anwendung der Systemplanung ergibt, so kann in jeder Periode der gesamte Kapazitätsbedarf gedeckt werden. Das Problem beschränkt sich darauf, die in den einzelnen Perioden vorhandene, überschüssige Kapazität so zu verteilen, daß die Transportkosten minimiert werden.

Zur Formulierung des Modells werden folgende Begriffe eingeführt:

- b_{ikt} = Bedarf des Betriebselementes i an der Faktorart k in der Periode t
- z_{ikt} = Bestand der Faktorart k in der Betriebseinheit i zu Beginn der Periode t
- x_{ijkt} = vom Element i zum Element j in der Periode t transportierte Einheiten der Faktorart k
- y_{ijkt} = Zahl der Transporte vom Element i zum Element j in der Periode t zur Beförderung der Faktorart k
- d_k = Lagerfähigkeit eines Transportfahrzeuges in Einheiten der Faktorart k

Die Indizes beschränken sich auf die Bereiche¹¹⁾

$ij = 0, 1, 2, \dots$ bis n ; $t = 0, 1, \dots$ bis r ; $k = 0, 1, \dots$ bis s .

Um die Bedarfsdeckung einer Betriebseinheit zu gewährleisten, muß in jeder Periode der Faktorbestand mindestens dem Faktorbedarf genügen (5.5; 5.6).

11) Das Element $i=0$ symbolisiert ein zentrales Lager, die Periode $t=0$ den Anfangszustand und die Maschinenart $k=0$ ein fixtives Füllgut. Durch entsprechende Nebenbedingungen kann somit auch der Auf- und Abbau eines Betriebssystems in die Planung miteinbezogen werden.

$$(5.5) \quad z_{ikt} \geq b_{ikt} \quad \text{wobei}$$

$$(5.6) \quad z_{ikt} = z_{ikt-1} + \sum_{j=0}^n x_{jikt} - \sum_{j=0}^n x_{ijkt}$$

Setzt man die Definitionsgleichung (5.6) in Nebenbedingung (5.5) ein, so erhält man die Nebenbedingung in der Form (5.5a).

$$(5.5a) \quad z_{iko} + \sum_{l=1}^t \sum_{j=0}^n x_{jikt} - \sum_{l=1}^t \sum_{j=0}^n x_{ijkt} \geq b_{ikt}$$

Die zur Beförderung einer Faktorart k zwischen den Elementen i und j erforderlichen Transporte werden gemäß Gleichung (5.7) durch die Ladefähigkeit d_k der Fahrzeuge bestimmt,

$$(5.7) \quad y_{ijkt} = \frac{x_{ijkt}}{d_k}$$

wobei allerdings die Transporte nur ganzzahlige Werte annehmen dürfen. Läßt man die Beförderung mehrerer Faktorarten je Transport zu, so wird die Ganzzahligkeit durch die Bedingung (5.8) sichergestellt.¹²⁾

- 12) Bei einer exakten Planung wäre die Zulässigkeit jedes Transportes zu überprüfen, da die Ganzzahligkeitsbedingung (5.8) auch unzulässige Ergebnisse enthalten kann. So werden z.B. die Einzeltransporte $y_{ij1t}=2/3, y_{ij2t}=2/3$ und $y_{ij3t}=1/2$ zu zwei Sammeltransporten (y_{ijt}) zusammengefaßt, obwohl dies nicht realisierbar ist. Zur Vereinfachung wird jedoch angenommen, daß die Faktoren soweit unterteilbar sind, daß Sammeltransporte immer zulässige Ergebnisse enthalten. Die Ganzzahligkeitsbedingung wird durch ein fiktives Füllgut (o) ermöglicht, wobei die Ladefähigkeit in Einheiten des Füllgutes wie folgt festzulegen ist:

$$d_o = \prod_{k=1}^s d_k$$

Durch Nebenbedingungen (Anfangsbestand unendlich, Periodenbedarf Null) ist die Verfügbarkeit des Füllgutes zu gewährleisten.

$$(5.8) \quad y_{ijt} = \sum_{k=0}^s y_{ijk t} = \sum_{k=0}^s \left(\frac{x_{ijk t}}{d_k} \right) = \text{ganzzahlig}$$

Um die Versorgung mit Transportfahrzeugen zu gewährleisten, müssen bei jedem Betriebselement i ebensoviele Transporte beginnen wie dort enden (5.9).

$$(5.9) \quad \sum_{j=0}^n y_{ijt} = \sum_{j=0}^n y_{j it}$$

Benötigt eine Fahrt von Element i zum Element j die Zeit τ_{ij} und verfügt das Beforderungssystem über eine Kapazität von g_t Zeiteinheiten, so ist zudem die Kapazitätsrestriktion (5.10) des Fuhrparks zu beachten.

$$(5.10) \quad \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \tau_{ij} \cdot y_{ijt} \leq g_t$$

Für dieses dynamische Verteilungsmodell ist nun die Zielvariable zu definieren, wobei die zu minimierenden Gesamtkosten (K) in folgende Bestandteile zerlegt werden: Kosten für den Auf- und Abbau des Systems (K_s)¹³⁾, Umstellkosten je Potentialfaktoreinheit (k_u), Transportkosten (k_f), sowie Potentialfaktorkosten (k_k). Die Formalisierung erfolgt über die Einführung von

$c_k^{(1)}$ = Kosten für den Aufbau einer Einheit der Faktorart k

$c_k^{(2)}$ = Kosten für Abbau und Verpackung einer Faktoreinheit

$c_{ij}^{(3)}$ = Kosten je Transport von Element i zu Element j

$c_k^{(4)}$ = Periodenfixkosten einer Einheit der Faktorart k .

13) Vgl. Fußnote 11 auf S. 230 dieser Arbeit.

$$(5.11) \quad K = K_s + K_u + K_t + K_k \longrightarrow \text{MIN}$$

$$(5.12) \quad K = \underbrace{\sum_{ikt} (c_k^{(1)} \cdot x_{oikt} + c_k^{(2)} \cdot x_{ioikt})}_{K_s} + \underbrace{\sum_{ij=1} \sum_{kt} (c_k^{(1)} + c_k^{(2)}) \cdot x_{ijkt}}_{K_u} + \underbrace{\sum_{ijt} c_k^{(3)} \cdot y_{ijt}}_{K_t} + \underbrace{r \cdot \sum_{ik} c_k^{(4)} \cdot z_{iko}}_{K_k}$$

Bei der Berechnung der Potentialfaktorkosten wurde die Zahl der Faktoreinheiten während des gesamten Planungszeitraumes als konstant unterstellt.¹⁴⁾ Das derart geschlossene Modell kann zwar in ein offenes Modell umgeformt werden, eine solche Modellerweiterung erhöht aber lediglich die Komplexität, ohne für diese Untersuchung relevante Erkenntnisse zu vermitteln.

Das hier skizzierte Grundmodell zur optimalen Verteilung von Potentialfaktoren auf die Elemente eines Betriebssystems geht von einem vorgegebenen Kapazitätsbedarf aus und versucht über die Variation der Transport- und Potentialfaktorkosten ein Kostenminimum zu erreichen. Das alleinige Anpassungsinstrument war die quantitative Anpassung im Sinne des Falles B von Gutenberg.¹⁵⁾

14) Will man die Kostenfunktionen der Abb. 5.4 graphisch darstellen, so empfiehlt es sich, die Potentialfaktorkosten aus der Zielfunktion herauszunehmen und die Kapazitäten mittels parametrischer Variation zu verändern.

15) Vgl. Gutenberg, E., Produktion, a.a.O., S. 380.

5.2.2. Modellvariante mit begrenzter Systemkapazität

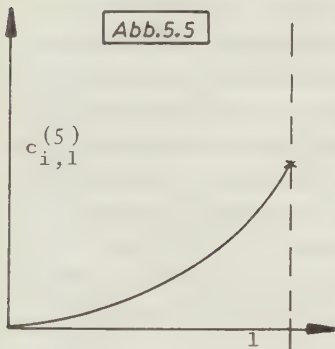
Dieser Modellvariante liegt die Annahme zugrunde, daß die Gesamtkapazität Z_k nicht in jeder Periode zur Befriedigung des Kapazitätsbedarfes ausreicht. Die verfügbaren Potentialfaktoren sind daher im Sinne einer möglichst hohen Gesamtbedarfsbefriedigung zu verteilen. Diese Zielsetzung erfordert einen Maßstab, der den Nutzen der Bedarfsbefriedigung widerspiegelt.

Da bei einer Überschreitung des Kapazitätsangebotes der geplante Produktionsvollzug nicht realisiert werden kann, ist der Kapazitätsbedarf zwangsläufig der Kapazität anzupassen. Die hieraus resultierenden Kosten geben den Nutzenentgang wieder, der durch die Nichtbefriedigung des ursprünglichen Kapazitätsbedarfes verursacht worden ist.

Läßt man eine Verlagerung des Kapazitätsbedarfes in andere Perioden nicht zu, so kann die Kapazitätsdeckungslücke einer Periode nur durch einen Produktionsverzicht ausgeglichen werden. Die Anpassungskosten entsprechen daher den Deckungsbeiträgen der weniger produzierten Fertigerzeugnisse. Kosten mangelnder Lieferbereitschaft sowie etwaige Konventionalstrafen sind - soweit erfaßbar - miteinzubeziehen.

Für jede Betriebseinheit i sind ausgehend vom ursprünglichen Fertigungsprogramm (X_{1u}) mit Hilfe der dynamischen Produktionsfunktion Programmänderungen zu ermitteln, die eine Minderung des Kapazitätsbedarfes (T_{izN}) der betroffenen Faktorart erwirken. Jedem derart festgelegten Produktionsprogramm l entspricht dann eine neue Bedarfsmatrix B_{il} , in der für sämtliche r Perioden und s Faktorarten der Kapazitätsbedarf ausgewiesen ist. Da eine Bedarfsminderung nur in der Periode erstrebenswert ist, in der das Bedarfsmaximum $B_k^{(s)}$ des Gesamtsystems auftritt, wird die Zahl der relevanten

Programmänderungen eingeschränkt.¹⁶⁾



Jedem dieser Produktionsprogramme (1) kann ein Kostensatz $c_{il}^{(5)}$ zugeordnet werden, der den Gewinnentgang (Minderung des Deckungsbeitrages) im Vergleich zum ursprünglichen Fertigungsprogramm enthält (Abb. 5.5). Da mit zunehmenden Programmeinschränkungen immer gewinnträchtigere Aufträge zurückgestellt werden müssen, werden die Koeffizienten $c_{il}^{(5)}$ eine progressive Tendenz aufweisen.

Die Zielfunktion dieses Modelles erhält man, wenn man aus der Zielfunktion des Grundmodelles (5.11) die - nunmehr konstanten - Potentialfaktorkosten K_k eliminiert und die Opportunitätskosten K_o (5.13) miteinbezieht.

$$(5.13) \quad K_o = \sum_i c_{il}^{(5)}$$

Gleichzeitig ist wegen der Variation der Fertigungsprogramme (1) die Nebenbedingung (5.5) in (5.5b) abzuändern und wegen der Kapazitätsbeschränkung das Modell um die Restriktion (5.14) zu erweitern.

$$(5.5b) \quad z_{ikt} \geq b_{ikt1}$$

$$(5.14) \quad \sum_{i=0}^n z_{ikt} \leq z_k$$

16) Auch die Größe der Deckungslücke ist für die Anzahl der Programmänderungen entscheidend. Ist der Bedarfsübergang gering, so genügen meist schon einige wenige Programmänderungen.

Das Konzept dieser Modellvariante zielt darauf ab, durch eine Änderung des Kapazitätsbedarfes und den optimalen Einsatz des Transportsystems eine kostenminimale Anpassung an ein gegebenes Kapazitätskontingent zu erreichen. Eine derartige Anpassung des Potentialfaktorbestandes durch eine Variation des Fertigungsprogrammes setzt voraus, daß die Auswirkungen auf den Kapazitätsbedarf der einzelnen Perioden abgeleitet werden können. Dies ist jedoch nur auf der Grundlage einer dynamischen Produktionsfunktion vollziehbar, die den production time lag explizit enthält.¹⁷⁾ Zugleich wird sichtbar, daß bei einer derartigen Simultanplanung die Opportunitätskosten keiner Zurechnungsproblematik unterliegen.

5.2.3. Modellvariante mit zeitlicher Verlagerung des Kapazitätsbedarfes

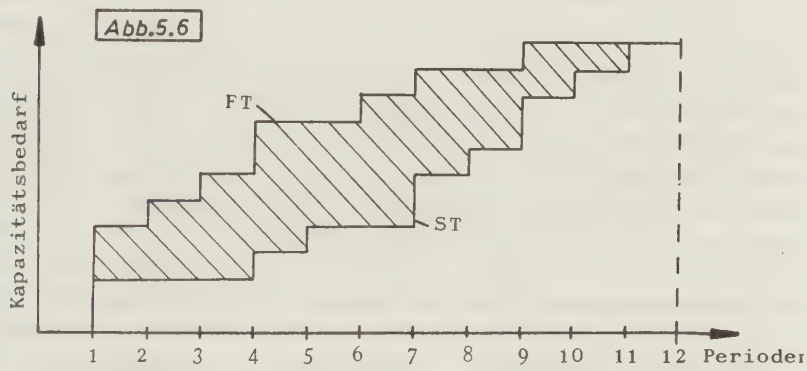
Die bisherigen Modelle unterstellten stets einen der Bausteine (Abb. 5.3) als exogen bestimmt, während die restlichen Komponenten im Sinne der Kostenoptimierung optimal anzupassen waren. Die folgende Modellvariante läßt alle Bausteine als begrenzt variabel zu und legt sie innerhalb dieser Grenzen simultan fest.

Ausgehend von dem in Kapitel 5.2.1. beschriebenen Grundmodell wird die zeitliche Verteilung des Kapazitätsbedarfes flexibler gestaltet, was bei fixierten Lieferterminen jedoch nur möglich ist, wenn die Zwischen- und Endprodukte bis zum Zeitpunkt des Liefertermins gelagert werden können. Die Lagerfähigkeit des Outputs ist daher eine Grundbedingung dieses Modells.

Mit Hilfe der dynamischen Produktionsfunktion kann der Periodenkapazitätsbedarf einer Betriebseinheit für den Fall

17) Vgl. Kapitel 1.2. auf S. 20 dieser Arbeit.

unterschiedlicher Vorlaufzeitkoeffizienten ermittelt werden. Summiert man diesen Periodenbedarf für den Extremfall, bei dem sämtliche Basisprozesse zu den spätest zulässigen Terminen durchgeführt werden, über den einzelnen Perioden auf, so erhält man die kumulierte Kapazitätsbedarfskurve ST_{ik} (Abb. 5.6). In analoger Weise kann für den Fall der frühest möglichen Fertigung die Summenkurve FT_{ik} abgeleitet werden.



$$ST_{i,k,t} = \sum_{u=1}^t b_{i,k,u}^{(S)}$$

$$FT_{i,k,t} = \sum_{u=1}^t b_{i,k,u}^{(F)}$$

Bei der tatsächlichen Einplanung der Kapazitäten ist nun nicht mehr ein jeweils vorgegebener Periodenbedarf zu befriedigen, vielmehr muß bis zum Ende des gesamten Planungszeitraumes der kumulierte Kapazitätsbedarf gedeckt werden. Innerhalb der einzelnen Perioden können dann die Kapazitäten zwischen dem jeweiligen Maximal- (FT) und Minimalbedarf (ST) angepaßt werden. Dieser kumulierte Bedarfsspielraum wird durch das schraffierte Gebiet (Abb. 5.6) verdeutlicht.

Als mathematische Konsequenz dieser Modellerweiterung wird die Nebenbedingung (5.5) des Grundmodelles durch die neuen

Restriktionen (5.5c) und (5.5d) ersetzt.

$$(5.5c) \quad \sum_{u=1}^t z_{iku} - \sum_{u=1}^t b_{iku}^{(S)} \geq 0$$

$$(5.5d) \quad \sum_{u=1}^t z_{iku} - \sum_{u=1}^t b_{iku}^{(F)} \leq 0$$

Stehen den einzelnen Betriebselementen nur beschränkte Lagermöglichkeiten zur Verfügung, so kann eine Produktion zu frühest möglichen Terminen an der Knappheit der Lager-räume scheitern.¹⁸⁾ Eine zusätzliche Nebenbedingung hat dann zu gewährleisten, daß eine vorgegebene kumulierte La-gerproduktion nicht überschritten wird.

War beim Grundmodell die Abstimmung der Leistungsquer-schnitte der einzelnen Kapazitätsarten innerhalb einer Be-triebseinheit durch eine vorangegangene produktionstheore-tische Nutzzeitermittlung garantiert, so können sich bei dieser Modellvariante die Leistungsquerschnitte wegen der Freiheitsgrade bei der zeitlichen flexiblen Bedarfsbefrie-digung unterschiedlich stark verändern. Durch eine Neben-bedingung (5.15) ist daher sicherzustellen, daß in den ein-zelnen Perioden die erforderlichen Leistungsverhältnisse der jeweiligen Faktorarten nur innerhalb zulässiger Band-breiten voneinander abweichen.¹⁹⁾

18) Des weiteren können Layout-Planung und personelle Be-schränkungen innerhalb der einzelnen Perioden maximale und minimale Kapazitätsrestriktionen erzwingen.

19) Eine exakte Planung würde es erfordern, daß für jede Änderung des zeitlichen Fertigungsablaufes eine neue produktionstheoretische Bedarfsermittlung durchgeführt wird. Zur Vereinfachung sei jedoch angenommen, daß durch die Wahrung vorgegebener Kapazitätsverhältnisse eine planmäßige Erzeugung gesichert ist.

$$(5.15) \quad q_{kp}^{(1)} \leq \frac{z_{ikt}}{b_{ikt}^{(s)}} - \frac{z_{ipt}}{b_{ipt}^{(s)}} \leq q_{kp}^{(2)} \quad \text{wobei}$$

$$q_{kp}^{(1), (2)} = \text{maximal zulässige Abweichung der relativen Kapazitätsdeckung der Faktorart k und p}$$

Diese Bedingung vermag es jedoch nicht vollkommen zu vermeiden, daß bei einer Faktorart die Bedarfsdeckung stets zu relativ frühen Terminen vorgenommen wird, während der Kapazitätsbedarf einer vorgelagerten Faktorart erst verhältnismäßig spät erfüllt wird. Die Versorgung der nachgeordneten Faktoreinheiten mit den benötigten derivativen Produktionsfaktoren ist somit nicht gewährleistet. Zur Aufrechterhaltung des produktionswirtschaftlichen Gleichgewichts²⁰⁾ sind daher noch die kumulierten Kapazitätsdeckungsverhältnisse der so verbundenen Faktorarten aneinanderzukoppeln (5.16).

$$(5.16) \quad q_{kp}^{(3)} \leq \frac{\sum_{u=1}^t z_{iku}}{\sum_{u=1}^t b_{iku}^{(s)}} - \frac{\sum_{u=1}^t z_{ipu}}{\sum_{u=1}^t b_{iku}^{(s)}} \leq q_{kp}^{(4)} \quad \text{wobei}$$

$$q_{kp}^{(3), (4)} = \text{maximal zulässige kumulierte Abweichung der relativen Kapazitätsdeckung der Faktorarten k und p}$$

Gemeinsam mit den Gleichungen (5.6) bis (5.10) sowie der Zielfunktion (5.11) bzw. (5.12) ist ein Modell entstanden, das unter der Zielsetzung der Kostenminimierung eine simultane, mehrperiodige Abstimmung zwischen dem Kapazitätsbedarf, dem Kapazitätsangebot und dem Transportsystem vornimmt. Als Anpassungsinstrumente werden einerseits Varia-

20) Vgl. Heinen, E., Kostenlehre, a.a.O., S. 300.

tionen der Vorlaufzeitkoeffizienten und andererseits Änderungen der Faktorquantitäten angewandt.

Ohne eine Änderung des Modellprinzips können zusätzliche Anpassungsinstrumente der dynamischen Produktionsfunktion in das Simultanmodell miteinbezogen werden. So ist der Einsatz alternativer Faktorkombinationen näherungsweise²¹⁾ erfassbar, indem man die Deckung des Kapazitätsbedarfes b_{ikt} durch bestimmte artverschiedene Potentialfaktoren z_{ipkt} ²²⁾ zuläßt. Das Resultat derartiger Substitutionsbeziehungen wäre eine optimale Ausstattung des Betriebssystems mit Universal- und Spezialmaschinen, wodurch sich gegebenenfalls erhebliche Transport- und Umstellkosten sowie Potentialfaktorkosten einsparen lassen. Weitere Determinanten des Kapazitätsbedarfes (z.B. Auflagengröße und Dispositionsform, Intensitäten) können in das Modell aufgenommen werden, um den Potentialfaktorbedarf der einzelnen Betriebe mit der Systemkapazität abzustimmen. Andererseits kann auch das Kapazitätsangebot durch eine zeitliche Anpassung variiert werden.

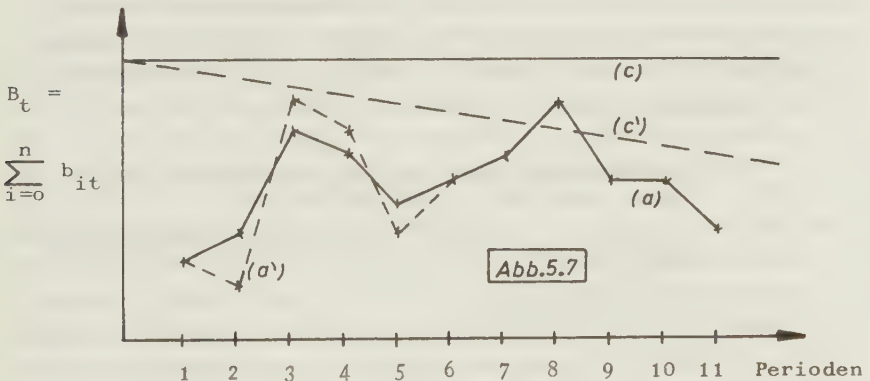
Da zur Lösung eines Realproblems das Modell jeweils speziell auf die vorhandene Produktionsstruktur sowie die Datenerfassungsmöglichkeiten abzustimmen ist, soll eine Erweiterung in der aufgezeigten Richtung unterbleiben. Vielmehr wird untersucht, inwieweit das Systemverhalten durch Störungen beeinträchtigt wird.

21) Bei exakter Planung müßte die Substitution auftragsbezogen (durch Verteilungsparameter) und nicht faktorbezogen gestaltet sein.

22) z_{ipkt} = Zahl der Faktoreinheiten p , die statt der Faktorart k eingesetzt werden.

5.3. Optimale Systemplanung bei stochastischen Störgrößen

Das bisher deterministische Modell erhält stochastischen Charakter, wenn Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Planabweichungen in den Kalkül miteinbezogen werden. Durch die Verknüpfungen der Systemelemente haben Störungen innerhalb eines Betriebselementes meist auch Auswirkungen auf die Kapazitätsversorgung anderer Betriebselemente. Da Kapazitätsdeckungslücken einzelner Betriebe durch den Einsatz des Transportsystems mit eventuell vorhandenen Überkapazitäten anderer Betriebe ausgeglichen werden können, reagiert das System flexibler und unempfindlicher auf Störungen als eine isolierte Planung.



Im Rahmen der Kapazitätsnutzung können äußere und innere Störungsgrößen (z.B. Programmänderungen, Prozeßzeitänderungen, Ausschuß) die zeitliche Verteilung des Potentialfaktortorbedarfes beeinträchtigen (Kurve a und a' in Abb. 5.7). Läßt sich für den Kapazitätsbedarf eine objektive²³⁾ Wahrscheinlichkeitsverteilung ermitteln, so wird die Optimie-

23) Vgl. Heinen, E., Zielsystem, a.a.O., S. 161.

rung unter der Zielsetzung der Minimierung der Kostenerwartungswerte vollzogen. Da jedoch die Daten meist nur auf subjektiven Wahrscheinlichkeiten beruhen, bildet das Risikoverhalten der Entscheidungsträger eine zusätzliche Determinante der Ausstattungsentscheidung. Modellrechnungen mittels parametrischer Variation verbunden mit einer Sensitivitätsanalyse können die Auswirkungen der Kapazitätsentscheidungen transparenter machen.

Auf der Kapazitätsangebotsseite können Planabweichungen vor allem durch Ausfälle von Potentialfaktoren entstehen, so daß der Potentialfaktorbestand nicht mehr konstant ist, sondern durch die Ausfallcharakteristik der Faktorarten bestimmt wird (vgl. Abb. 5.7 Kurve c'). Diese Verringerung des Kapazitätsangebotes kann eine Kapazitätsdeckungslücke des Gesamtsystems oder zumindest ein Ansteigen der Transportkosten hervorrufen. Durch die Einführung der Gleichung (5.6a) kann die Ausfallcharakteristik der Potentialfaktoren in die Systemoptimierung einbezogen werden.

ϵ_{ikt} = Ausfallrate der Faktorart k innerhalb der Betriebseinheit i in der Periode t

ξ_k = Reparaturquote bei den ausgefallenen Faktoren der Art k

x = Reparaturperiode

$$(5.6a) \quad z_{ikt} = (1 - \epsilon_{ikt-1}) \cdot z_{ikt-1} + \sum_{j=0}^n x_{jikt} - \sum_{j=0}^n x_{ijkt} + \epsilon_{ikt-x} \cdot z_{ikt-x} \cdot \xi_k$$

wobei z_{ikt} = ganzzahlig

Ist für den Ersatzfall der Zeitraum zum Transport und zur Installation eines Austauschaggregates zu lange, so sind die Reserveeinheiten für die einzelnen Betriebe isoliert einzuplanen, wobei dieser Reservobestand jeweils als gebunden zu betrachten ist und somit nicht zu anderen Betriebselementen verlagert werden darf. Durch die Formen der möglichen Redundanzschaltungen²⁴⁾ (heiße und warme Redundanz) können die Folgen von Maschinenausfällen erheblich vermindert werden. Allerdings verursacht eine derartige isolierte Reserveplanung eine nicht unbeträchtliche Erhöhung der Potentialfaktorkosten.

Dieses Modell einer zellularen Anpassung steuert über mehrere Perioden die Kapazitätsversorgung eines Betriebssystems durch die Verlagerung von Potentialfaktoren. Voraussetzung einer derartigen dynamischen Verteilung ist eine Ableitung des periodenbezogenen Kapazitätsbedarfes, die nur auf der Grundlage einer dynamischen Produktionsfunktion erfolgen kann. Dem aus der produktionstheoretischen Analyse resultierenden Nutzzeit- bzw. Faktorbedarf wird innerhalb des Optimierungsverfahrens die verfügbare Nutzzeit zugeordnet.

Die Anpassung des Kapazitätsbedarfes bei begrenzter Systemkapazität mittels einer Variation des Fertigungsprogrammes erfordert in gleicher Weise den Einsatz einer dynamischen Produktionsfunktion, um den production time lag zwischen Endproduktbedarf und Zwischenproduktbedarf erfassen zu können. Zugleich ermöglicht es die dynamische Produktionsfunktion, den Kapazitätsbedarf bei alternativem zeitlichen Produktionsvollzug (Änderung der Vorlaufzeitkoeffizienten) zu ermitteln, um der Deckung des Kapazitätsbedarfes Freiheitsgrade zu verschaffen.

24) Zeep, W., Redundanz - ein Mittel zur Steigerung der Zuverlässigkeit von technischen Systemen, in: Bussmann, K.F./Mertens, P. (Hrsg.), Operations Research und Datenverarbeitung in der Instandhaltungsplanung, Stuttgart 1968, S. 83 f.

Anhand dieses Modelles sollte aufgezeigt werden, inwieweit ein Zusammenwirken von produktionstheoretischem Erklärungsmodell und stark aggregiertem Entscheidungsmodell möglich ist. Hierbei lieferte das Erklärungsmodell die Ausgangsdaten für das übergeordnete Optimierungsmodell und steuerte zugleich über eine Variation dieser Daten das Optimierungsergebnis mit.

DRITTER TEIL:

METHODEN DER KAPAZITÄTSBELEGUNG

Ausgehend von einem Fertigungsprogramm, dessen zeitliche sowie mengen- und artmäßige Dimension deterministisch oder stochastisch vorgegeben war, hatte die Kapazitätsplanung, die zeitliche Verteilung des Kapazitätsbedarfes zu ermitteln und sie der Zielfunktion entsprechend zu befriedigen. Eine derartige Anpassung setzt jedoch voraus, daß die organisatorischen und technologischen Freiheitsgrade bei der Ableitung des Kapazitätsbedarfes zumindest in globaler Form zielgerecht fixiert werden.

Die hieraus resultierende zeitliche Verteilung des Potentialfaktorbestandes bildet die Grundlage der Kapazitätsbelegung, die für einen kürzeren Zeitraum eine detaillierte zeitliche und sachliche Zuordnung von Potentialfaktoren und Basisprozessen vollzieht. Die gegenüber der Kapazitätsplanung zunehmende zeitliche und sachliche Spezifizierung erfordert eine zielorientierte Abstimmung der hierin enthaltenen Freiheitsgrade.¹⁾ Um in jeder Situation - auch bei Störungen - eine zulässige Produktionslösung zu erhalten, muß eine Abweichung von den Fertigungsterminen der Kapazitätsplanung statthaft sein.

Aus dieser Abgrenzung zwischen Kapazitätsplanung und Kapazitätsbelegung wird deutlich, daß zwischen den Anpassungsarten des Kapazitätsbedarfes beider Entscheidungsbereiche kaum prinzipielle Unterschiede²⁾ bestehen. Allerdings bewirkt die Annäherung an die Realisationsphase, daß bei der Kapazitätsfeinplanung die mathematische Ausgestaltung der Anpassungsinstrumente sich mehr am konkreten Produktionsablauf zu orientieren hat. Da die Freiheitsgrade weitgehend vom organisatorischen Vollzug des Fertigungsprozesses bestimmt werden³⁾, erscheint es zweckmäßig, die Methoden der Kapazitätsbelegung für die extremen Organisationstypen der Fließfertigung und Werkstattfertigung getrennt zu untersuchen.

1) Vgl. Kapitel 2.1.3. dieser Arbeit.

2) Lediglich die zeitliche Dimension des Fertigungsprogrammes erhält eine prinzipiell andersartige Funktion.

3) Vgl. Fäßler, K./Reichwald, R., Fertigungswirtschaft, a.a.O., S.268.

6. DIE ZEITLICHE ABSTIMMUNG BEI DER FLIESSFERTIGUNG

Die Organisation des Produktionsprozesses erfolgt nach dem Fließprinzip, wenn die Arbeitsprozesse eines Erzeugnisses ständig in gleichmäßigem und aufeinander abgestimmtem Rhythmus wiederholt werden. Ein derart stetiger Fertigungsablauf setzt voraus, daß die Maschinen und Arbeitsplätze der Arbeitsgangfolge entsprechend angeordnet werden. Diese Arbeitsstationen sind zudem durch ein Transportsystem zu verbinden, das den kontinuierlichen Produktionsfluß gewährleistet. Wegen der stetigen Wiederholung des gleichen Produktionsprozesses wird dieser Organisationstyp vor allem bei einer marktorientierten Massenfertigung angewandt.⁴⁾

Das Problem der Fließfertigung besteht darin, die einzelnen Basisprozesse den jeweils benötigten Potentialfaktoren derart zuzuweisen, daß die Tätigkeitsdauer der auf diese Weise entstandenen Arbeitspakete der Taktzeit oder einem Vielfachen von ihr entspricht. Die organisatorische Reihenfolge sowie der technologische Tätigkeitsablauf wird in dieser Planungsphase weitgehend festgelegt, wobei die vergleichsweise lange Gültigkeit der einmal getroffenen Entscheidung eine möglichst simultane Abstimmung der organisatorischen und technologischen Freiheitsgrade erstrebenswert macht.

6.1. Produktionstheoretische Grundlagen

Da bereits im übergeordneten Entscheidungsbereich das Fertigungsprogramm mit der quantitativen und qualitativen Kapazität abgestimmt worden ist, kann von einem ausreichend

4) Vgl. Hahn, D., Industrielle Fertigungswirtschaft in entscheidungs- und systemtheoretischer Sicht, Teil 1, Zfo 1972 (41) 6, S. 277.

vorhandenen Potentialfaktorbestand ausgegangen werden.
Die Taktzeit c [Minuten] ist dann gemäß (6.1) abhängig von dem benötigten Produktbedarf je Periode (X) und von der zugrunde gelegten Periodenbetriebszeit T [Stunden/Periode].

$$(6.1) \quad c = \frac{60 \cdot T}{X} \cdot N_p \quad \text{wobei}$$

X = Output pro Periode

N_p = Anzahl der parallelen Fließbänder

Von dieser Taktzeit wird jedoch der Anteil c_T durch den Transport des Werkstückes verbraucht, so daß für die produktive Nutzung nur der Zeitabschnitt c_p gemäß (6.2) verbleibt.⁵⁾

$$(6.2) \quad c_p = c - c_T$$

Die Grundlage für die Zuordnung von Potentialfaktoren und Basisprozessen bildet die Fertigungsstruktur des Erzeugnisses, wie sie durch die Produktionsfunktion vom Typ C beschrieben wird. Zugleich sei unterstellt, daß die Prozeßzeiten t_{jk} sowie die zugehörigen Fertigungsverfahren mit Hilfe des prozeßbezogenen Wirtschaftlichkeitskriteriums bereits festgelegt sind.

Die technologisch bedingte Bearbeitungsreihenfolge kann durch ein Strukturbild (Abb. 6.1) - es wird auch als Vorrang-Graph bezeichnet -⁶⁾ wiedergegeben werden.

-
- 5) Hoss errechnet den produktiven Anteil aus (6.1) und addiert hierzu die Transportzeit c_T . In diesem Falle kann jedoch in dem Zeitabschnitt T nicht die gewünschte Outputmenge X erstellt werden. Vgl. Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 24.
- 6) Vgl. Bussmann, K.F. u.a., Ein Vergleich von Fließbandabstimmungsverfahren, in: Bussmann, K.F./Mertens, P. (Hrsg.), Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung, Stuttgart 1968, S. 313-356, hier S. 314.

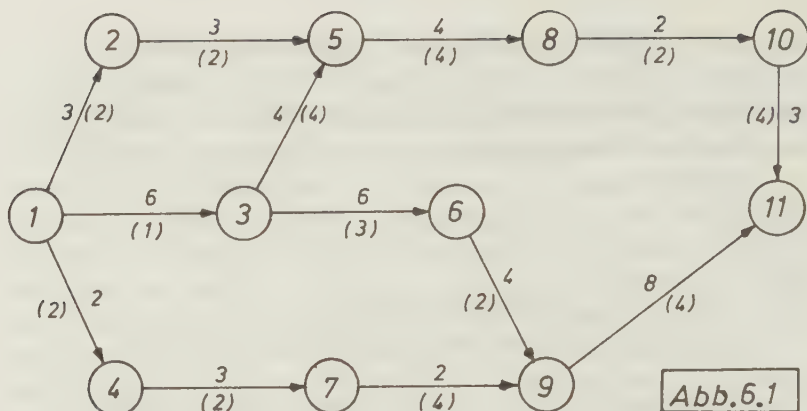


Abb. 6.1

Die Pfeile in Abb. 6.1 stellen hierbei Arbeitselemente dar, wobei die auf den Pfeilen platzierten Zahlen die Prozeßzeit, die unter den Pfeilen stehenden Klammerausdrücke die benötigte Potentialfaktorart symbolisieren.

Zur Terminierung der Basisprozesse sind die einzelnen Arbeitselemente in den durch die Taktzeit vorgegebenen Zeitraster einzuordnen (Abb. 6.2). Können die Arbeitstakte hierbei nicht vollkommen durch Prozeßzeiten ausgefüllt werden, so entstehen innerhalb dieser Zeitabschnitte Wartezeiten. Die Taktzeit beinhaltet somit auf einer Stufe k die Prozeßzeiten der dort durchgeführten Basisprozesse (x_{jk}) sowie die ablaufbedingte Wartezeit z_k (6.3).

$$(6.3) \quad c_p = \left(\sum_{j=1}^m z_j \cdot x_{jk} + z_k \right) / n_k^{(i)} \quad \text{wobei}$$

$n_k^{(i)}$ = Anzahl der parallel arbeitenden Einheiten der Potentialfaktorart i auf Stufe k

$$x_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{wenn Prozeß } j \text{ auf Stufe } k \text{ ausgeführt wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Jeder Basisprozeß ist in die Produktionsstruktur eines Erzeugnisses derart eingegliedert, daß er aus technologischen Gründen zwischen einer frühest möglichen (s_1) und einer spätest zulässigen (s_2) Fertigungsstufe verwirklicht werden muß. Die Bedingung (6.4) gewährleistet, daß die organisatorische Gestaltung diese technologischen Grenzen nicht überschreitet.

$$(6.4) \sum_{k=2}^{s_2} x_{jk} = 1$$

Nach diesem Prinzip werden zu den frühest möglichen Terminen die Arbeitselemente der Abb. 6.1 in den Zeitraster der Abb. 6.2 eingeplant. Läßt man hierbei auf einer Stufe nur gleichartige Potentialfaktoren zu - diese organisatorische Beschränkung wird unterstellt -, so daß unterschiedliche Arbeitsprozesse nicht gleichzeitig vollzogen werden

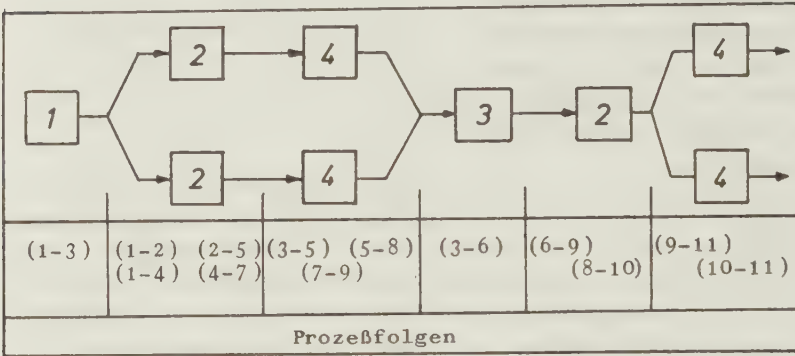
Zeit	Potentialfaktorart			
	1	2	3	4
1	1-3	1-2 2-5 1-4 4-7		
2			3-6	3-5 7-9
3		6-9		5-8
4		8-10		9-11 9-11
5				10-11

Abb.6.2

können, dann sind zur Berechnung der Vorlaufzeitkoeffizienten die Arbeitspakete hintereinander zu reihen. Bei einer derartigen Anordnung entstehen häufig Pufferzeiten, durch die neue Freiheitsgrade für die Kombination der Basisprozesse geschaffen werden. Unter Verwendung einer Ziel-

funktion kann nun eine optimale Zuordnung ermittelt werden.⁷⁾ Die Abbildung 6.3 zeigt eine Lösung, bei der eine Minimierung der gesamten Wartezeit angestrebt worden ist. Die Quadrate symbolisieren die einzelnen Potentialfaktoreinheiten, wobei die jeweilige Ziffer die Art dieser Faktoren kennzeichnet.

Abb.6.3



Die Berechnung der Vorlaufzeitkoeffizienten bei Anwendung des Fließprinzips wurde bisher für die Aneinanderreihung von Bearbeitungsoperationen dargelegt, die an einem Werkstück vorzunehmen sind. Der technologische Vorrang-Graph (Abb. 6.1) wurde hierbei durch die organisatorische Gestaltung in ein kettenartiges Strukturbild umgeformt, dessen einzelne Stufen jeweils durch den Produktionskoeffizienten mit dem Wert "1" verbunden sind.

Weichen jedoch die Produktionskoeffizienten $b_{i \rightarrow j}$ verschiedener Stufen voneinander ab, so können diese Stufen nicht mehr durch einen gemeinsamen Arbeitstakt zusammengefaßt werden. Vielmehr sind die Taktzeiten c_k dieser selbst-

7) Dies setzt jedoch voraus, daß die Potentialfaktorausstattung, das Fertigungsprogramm oder die Arbeitszeit als Variable betrachtet werden.

ständigen Fließreihen ihrem Produktionskoeffizienten b_{ij} entsprechend aufeinander abzustimmen (6.5).

$$(6.5) \quad C_i = c_i \cdot N_i = \frac{1}{b_{i \rightarrow j}} \cdot C_j \quad \text{wobei}$$

N_i = Zahl der parallel arbeitenden Fließreihen der Stufe i

$b_{i \rightarrow j}$ = Zwischenproduktmenge der Stufe i , die für eine Einheit der Stufe j benötigt wird.

Abbildung 6.4 zeigt eine Produktionsstruktur, bei der zwei parallele Fließreihen (IIIa und IIIb) mit der Fließreihe I abgestimmt sind. Werden im Vollzuge des Produktionsprozesses zudem mehrere verschiedenartige Werkstücke zu einem vereinigt, so sind die entsprechenden Fließstraßen in analoger Weise aneinanderzukoppeln. Das Strukturbild des technologischen und organisatorischen Produktionsablaufes findet in der Struktur der Fließstraßen ihr konsolidiertes Abbild.

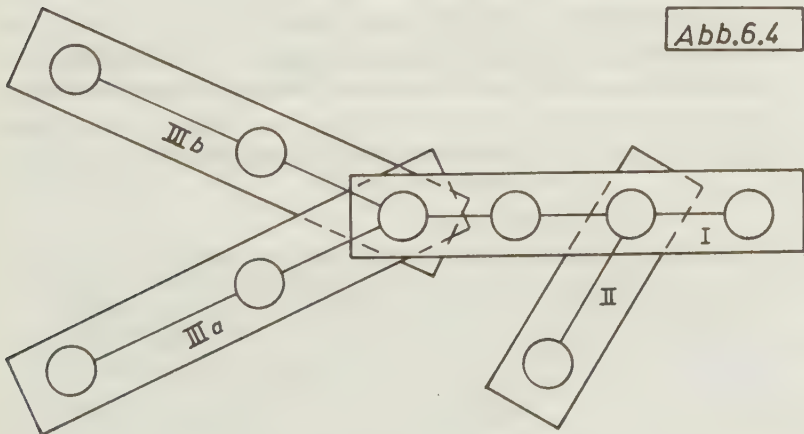


Abb.6.4

6.2. Die Formulierung einer Zielfunktion

Die zeitliche Abstimmung der Fließproduktion soll auf die Maximierung des Periodengewinnes ausgerichtet sein, ein Ziel, das bei gegebenem Fertigungsvolumen mit der Minimierung der Kosten gleichbedeutend ist. Sind bei der Anwendung des Fließprinzips eindeutige Beziehungen zwischen der Kostenentstehung und dem zeitlichen Produktionsvollzug nachweisbar, so kann dieses Kostenziel durch eine zeitliche Zielfunktion ersetzt werden.

Da bei diesem Organisationstyp eine Fließstraße jeweils nur für die Produktion einer Erzeugnisart bestimmt ist, können die faktorbezogenen Leerzeiten und die produktbezogenen Wartezeiten eindeutig einander zugeordnet werden. Bei n hintereinandergeschalteten Arbeitsstationen läßt sich dann die Durchlaufzeit (DLZ) und die Kapazitätsbelegung (KB) durch die Gleichung (6.6) und (6.7) ausdrücken.⁸⁾

$$(6.6) \quad \underbrace{DLZ}_{\text{Zahl der Stationen}} = \underbrace{n}_{\text{Taktzeit}} \cdot \underbrace{c}_{\text{Bearbeitungszeit je Stufe}} = \sum_{k=1}^n \left(\underbrace{\sum_{j=1}^m (t_j \cdot x_{jk})}_{\text{Bearbeitungszeit je Stufe}} + \underbrace{z_k}_{\text{Wartezeit je Stufe}} \right) \cdot \underbrace{\frac{1}{n_k}}_{\text{Faktoreinheiten je Stufe}}$$

$$(6.7) \quad KB = \frac{\sum_{k=1}^n \overbrace{\sum_{j=1}^m (t_j \cdot x_{jk})}^{\text{Bearbeitungszeit je Stufe}}}{\sum_{k=1}^n c \cdot n_k} \quad \text{bzw.}$$

$$(6.7a) \quad KB = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n z_k}{c \cdot \sum_{k=1}^n n_k}$$

8) Die Transportzeit c_T wird im folgenden vernachlässigt.

Hieraus wird ersichtlich, daß mit der Minimierung der kumulierten Wartezeit (z_k) zugleich die Durchlaufzeit und die Kapazitätsbelegung optimiert werden. Das Ablaufplanungsdilemma, wie es in der Werkstattfertigung unterstellt wird, besteht somit bei dieser Organisationsform nicht.⁹⁾ Wird der Nachweis erbracht, daß mit der Minimierung der Durchlaufzeit und der Maximierung der Kapazitätsbelegung zugleich die Kosten minimiert werden¹⁰⁾, so kann das Kostenziel durch das Zeitziel (6.8) ersetzt werden.

$$(6.8) \quad \sum_{k=1}^n z_k \cdot n_k \longrightarrow \text{MIN} \quad \text{bzw.}$$

$$(6.8a) \quad \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m (c - t_j \cdot x_{jk}) \cdot n_k \longrightarrow \text{MIN}$$

Eine Verringerung der Wartezeit - gleichbedeutend mit einer Verkürzung der Taktzeit c - führt bei der Fließproduktion zwingend zu einer Steigerung der Outputgeschwindigkeit.¹¹⁾ Entweder kann dann bei entsprechenden Nachfrageverhältnissen der Gewinn vergrößert oder über eine Verkürzung der Betriebszeit eine Kosteneinsparung erzielt werden. Da die Lagerwirtschaft und die Kapitalbindung keinen entgegengerichteten Kostentrend erkennen lassen, scheint die Relevanz dieses Zeitzieles in den meisten Situationen gegeben zu sein.

9) Die von Zimmermann versuchte Ableitung einer Zielkonkurrenz wird von Günther widerlegt. Vgl. Zimmermann, W., Modellanalytische Verfahren zur Bestimmung optimaler Fertigungsprogramme, Berlin 1966, S. 175; Günther, H., Das Dilemma ..., a.a.O., S. 48 f.; Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 22 f.

10) Vgl. hierzu auch Kap. 2.2.2., S. 83 ff. bes. S. 91 f. dieser Arbeit.

11) Bei gekoppelten Fließbändern gilt dies nur, wenn gleichzeitig sämtliche Fließbänder entsprechend angepaßt werden.

Die Komplementarität zwischen Kosten- und Zeitziel kann allerdings nicht mehr unterstellt werden, wenn die Verkürzung der Taktzeit gleichzeitig einen erhöhten Verzehr von Kostengütern verursacht. Werden der Potentialfaktorbestand, die Fertigungsverfahren oder die Prozeßzeiten geändert werden, so ist demnach das Kostenziel (6.9) nicht mehr ersetzbar.

$$(6.9) \quad K(c) \longrightarrow \text{MIN}$$

Für unterschiedliche Zielsetzungen des oben skizzierten Zuordnungsproblems existieren eine Reihe von Abstimmungsverfahren, welche meist mit Hilfe der ganzzahligen linearen Programmierung zufriedenstellende Näherungslösungen erreichen.¹²⁾ Will man zudem die Auswirkungen von Störungen, die sich vor allem bei autonomen Fertigungsstraßen schnell fortpflanzen, durch das Einfügen von Pufferlagern auffangen, so kann diese Planung nur durch die Anwendung von Simulationsmodellen erfolgen.¹³⁾ Gerade die Koppelungen und Verzweigungen von Fließstraßen erhöhen den Bedarf an Pufferlagern und komplizieren hierdurch das Modell.

12) Eine Literaturübersicht bringen: Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 24, bes. Fußnote 51; Bussmann, K.F. u.a., Ein Vergleich von Fließbandabstimmungsverfahren, a.a.O., S. 315 ff.

13) Vgl. zu Simulationsmodellen: Herriger, H., Pufferlager in einer ausfallanfälligen Fließfertigung, und Brachvogel, U./Koxholt, R., Ein Modell zur Simulation einer Fließfertigung unter der Annahme kontinuierlichen Fertigungsflusses, beide in: Bussmann, K.F./Mertens, P. (Hrsg.), Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung, Stuttgart 1968, S. 356-372 und S. 373-387.

6.3. Die Anpassungsmöglichkeiten von Kapazität und Kapazitätsausnutzung

Durch die Lösung des Zuordnungsproblems sind die organisatorischen Freiheitsgrade bei der Reihung der Basisprozesse vollständig fixiert. Da die Gestaltung des Produktionsablaufes auch den technologischen Tätigkeitsablauf weitgehend determiniert¹⁴⁾, sind die Möglichkeiten zur Variation des Produktionsausstoßes sehr begrenzt.

Die Änderung der periodenbezogenen Outputmenge erfordert insoweit keinen Eingriff in den Produktionsprozeß, als innerhalb dieser Periode die Produktionszeit T variiert werden kann.¹⁵⁾ Dieser zeitlichen Anpassung sind jedoch zum einen bei der Einführung von Überstunden bzw. Kurzarbeit arbeitsrechtliche und motivationsbedingte Grenzen gesetzt, zum anderen entstehen bei Schichtänderungen Anpassungsprobleme hinsichtlich des Personalbestandes.

Bei gegebener Betriebszeit T kann eine Änderung der Outputmenge nur durch eine Angleichung der Taktzeit c erreicht werden. Diese intensitätsmäßige Anpassung wird bei zeitfixen Basisprozessen durch eine minimale Taktzeit $c_{p,min}$ beschränkt, die dann erreicht ist, wenn mindestens eine Arbeitsstation k über keine Wartezeit mehr verfügt (6.10).¹⁶⁾

$$(6.10) \quad c_{p,min} = \max \left[\frac{1}{n_k} \sum_{j=1}^m t_j \cdot x_{jk} \quad \text{für } k=1 \text{ bis } n \right]$$

Ist hingegen die Prozeßzeit t_j variabel, so kann die Taktzeit c weiter verringert werden. Unter Inkaufnahme eines

14) So ist z.B. der Einsatz alternativer Fertigungsverfahren (Änderung der Verteilungsparameter) bei der Fließfertigung nicht mehr möglich.

15) Vgl. Formel 6.1 auf S. 247 dieser Arbeit.

16) Vgl. Formel 6.3 auf S. 248 dieser Arbeit.

Gemäß dieser Gleichung (6.12) sind für eine gegebene Fließstraße die Kostenwirkungen der intensitätsmäßigen Anpassung um so geringer, je mehr die Taktzeitänderung durch Wartezeitvariationen ausgeglichen werden kann. Eine Fließfertigung mit einem oder wenigen Engpaßfaktoren - die zeitliche Variabilität der Basisprozesse vorausgesetzt - bietet somit für eine Intensitätssteigerung günstige Voraussetzungen, da auf den übrigen Stationen die Prozeßzeiten weitgehend konstant bleiben können. Andererseits ist für eine gegebene Menge von Basisprozessen die Zone einer verhältnismäßig geringen Kostenreagibilität um so ausgedehnter (die Kostenkurve um so konvexer), je besser es gelingt, die Basisprozesse so auf die einzelnen Stufen zu verteilen, daß bei einer Intensitätssteigerung die Prozesse möglichst in der Reihenfolge ihrer Kostengradienten angeglichen werden (Abb. 6.6).

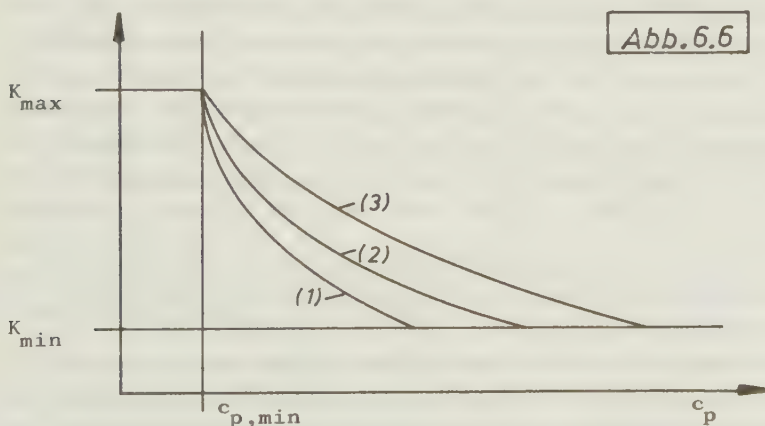


Abb. 6.6

Dementsprechend sind bei der Kurve (1) in Abb. 6.6 die Basisprozesse den Stufen derart zugeordnet worden, daß auf jeder Fließbandstation zeitelastische Prozesse vollzogen werden, die einen geringen Kostengradienten aufweisen. Da bei Kurve (3) hingegen einige Stationen nur über zeitun-

elastische und andere nur über zeitelastische Prozesse verfügen, steigen hier bei Taktzeitverkürzungen die Kosten zunächst stärker an, während im späteren Verlaufe ihre Steigung im Vergleich zur Kurve (1) geringer ist. Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei Kurve (1) mit zunehmender Intensität auf sämtlichen Stufen immer zeitunelastischere Prozesse beschleunigt werden müssen, während bei Kurve (3) auf einigen Stufen noch zeitelastische Prozesse anpassungsfähig sind.

Kommt dieser intensitätsmäßigen Anpassungsform im realen Produktionsvollzug eine wesentliche Bedeutung zu, so sind diese Aspekte bereits bei der Lösung des Zuordnungsproblems einzubeziehen.

Das Problem der Fließfertigung - die Zuordnung von Basisprozessen und Potentialfaktoren unter dem Gesichtspunkt einer zeitlichen Abstimmung der Arbeitspakete - setzt voraus, daß die technologisch bedingten Zeitabhängigkeiten innerhalb der Fertigungsstruktur erfaßbar sind. Dies kann jedoch nur auf der Grundlage einer dynamischen Produktionsfunktion erfolgen, die den Zeitzusammenhang von Endprodukt und Zwischenerzeugnissen explizit enthält. Die zeitliche Abstimmung der Fließfertigung entspricht dann einer Einordnung der Vorlaufzeitkoeffizienten in einen vorgegebenen Zeitraster (Taktzeit).

Des weiteren fällt der Produktionsfunktion die Aufgabe zu, die Kostenkonsequenzen einer intensitätsmäßigen Anpassung zu prognostizieren. Bei einer gegebenen Fließstraße kann die stufenweise Untersuchung auch mit Hilfe eines statischen Produktionsmodells vorgenommen werden. Will man jedoch die Kostenwirkungen der intensitätsmäßigen Anpassung bereits bei der Zuordnung der Basisprozesse berücksichtigen, so erfordert dies wiederum den Einsatz der dynamischen Produktionsfunktion.

7. DIE HAUPTDETERMINANTEN DER KAPAZITÄTSBELEGUNG BEI DER WERKSTATTFERTIGUNG

Beim Organisationstyp der Werkstattfertigung stellt die Gleichartigkeit der Bearbeitungsvorgänge das Ordnungskriterium für die Bildung von Potentialfaktorgruppen dar. Dieses Anordnungsprinzip wird angewandt, weil die unterschiedliche technologische Reihenfolge der verschiedenartigen Erzeugnisse und deren unstetiger Fertigungsrhythmus eine produktbezogene Ausrichtung der Betriebsmittel nicht zulassen. Die Produkte werden daher entsprechend ihrer technologischen und organisatorischen Reihenfolge zu den einzelnen Potentialfaktorgruppen befördert, wo sie möglicherweise mit anderen Erzeugnissen um die Inanspruchnahme der Kapazitätseinheiten konkurrieren.

Eine derartige Überlagerung verschiedenartiger Erzeugnisse läßt keine Zuordnung von auftragsbezogener Wartezeit und faktorbezogener Leerzeit zu, weshalb sich die Minimierung dieser Zeiten nicht mehr komplementär verhält. Vielmehr kann eine indifferente oder konkurrierende Beziehung (Ab-
laufplanungsdilemma) entstehen. Da die Kostenwirkungen dieser Zeitziele jeweils situationsbedingt sind¹⁾, ist eine generelle Mittel-Zweck-Beziehung zwischen Kosten- und Zeitzielen nicht herstellbar. Erscheint das Kostenziel selbst nicht operational, so sind daher die zeitlichen Ziele durch Kostenüberlegungen situationsgerecht zu kombinieren.

Die Effizienz der Anpassungsinstrumente²⁾ bei der konkreten Steuerung der Kapazitätsausnutzung wird wesentlich durch die jeweilige betriebsspezifische Produktionsstruktur bestimmt. Die folgende theoretische Untersuchung beschränkt sich auf

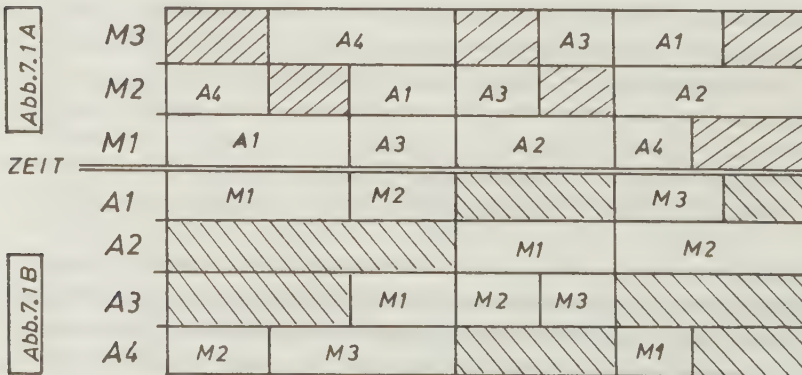
1) Vgl. Kapitel 2.2.2., S. 83 dieser Arbeit.

2) Vgl. Kapitel 1.4. und 3.4. dieser Arbeit.

die am häufigsten angewandten Instrumente, die im weiteren Verlauf als Hauptdeterminanten bezeichnet werden: die Zusammenfassung gleichartiger Produkte zu Fertigungslosen und die Festlegung der organisatorischen Bearbeitungsreihenfolge.

7.1. Die Planung der organisatorischen Reihenfolge

Die Festlegung der organisatorischen Reihenfolge besteht in einer terminierten Zuordnung von Arbeitsgängen und Arbeitsplätzen.³⁾ Zur graphischen Darstellung dieser Reihenfolgeplanung bedient man sich häufig sogenannter Gantt-Diagramme, in denen über der Zeitachse die Bearbeitungsstermine eingetragen sind. Werden die Diagramme in faktorbezogener Form erstellt (Abb. 7.1 A), so enthalten sie die Belegungs- und Leerzeiten, während sie in auftragsbezogener Form (Abb. 7.1 B) die Bearbeitungs- und Wartezeiten wiedergeben.



3) Räumliche Aspekte werden nicht in diese Betrachtung einbezogen.

Da dieses Darstellungsverfahren jedoch die Struktur des Fertigungsprozesses nicht erkennen läßt, eignet es sich nur für die Wiedergabe linearer oder linearisierter Bearbeitungsfolgen. Der gleiche Nachteil haftet der von Roy entwickelten Graphenmethode⁴⁾ an. Die horizontale pfeilgerichtete Verknüpfung symbolisiert hierbei die technologische, auftragsbezogene Bearbeitungsfolge, während die vertikalen Pfeilverbindungen die organisatorische, faktorbezogene Reihenfolge wiedergeben (Abb. 7.2). Diese Methode wird jedoch bei größeren Problemen rasch unübersichtlich und vermag zudem den zeitlichen Aspekt nicht darzustellen.

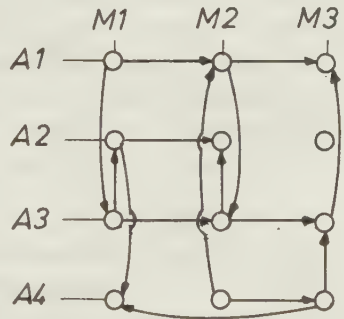


Abb. 7.2

Nichtlineare - also verzweigte - Fertigungsstrukturen bedürfen zur Steuerung der parallelen und ineinanderlaufenden Bearbeitungsäste einer zusätzlichen Strukturdarstellung.⁵⁾ Diese Koordinationsaufgabe kann ein über der Zeitachse aufgetragener Netzplan⁶⁾ erfüllen, in dem die linearen Bearbeitungsfolgen jeweils zu einer Aktivität zusammengefaßt sind (Abb. 7.3).

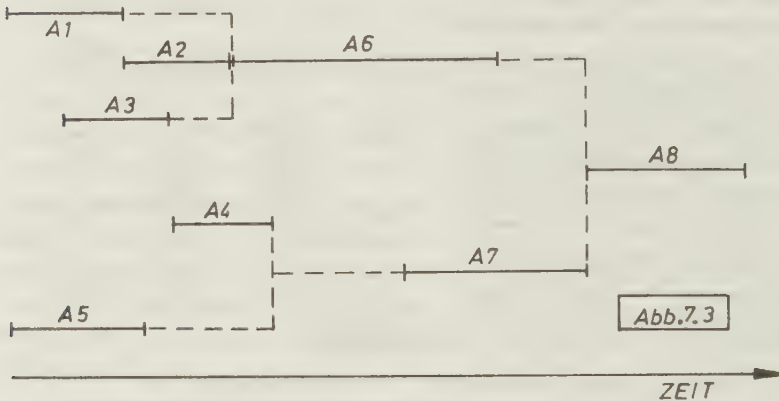
Aus dieser Darstellungsform wird ersichtlich, inwieweit die Terminänderungen einer derartigen Aktivität (A) die Termi-

4) Vgl. Roy, B., Cheminement et connexite dans le graphes..., a.a.O., S. 1 ff.; Niedereichholz, J., Grundlagen der optimalen organisatorischen Reihenfolgeplanung in der Arbeitsvorbereitung, ZfO 1970 (39), 6, S. 262-269; Krycha, K. T., Methoden der Ablaufplanung, Frankfurt-Zürich 1972, S. 26 f.

5) Vgl. Wedekind, H., Netzwerkplanung mit Kapazitätsbeschränkung der Tätigkeiten, FB 1965 (14), 3, S. 89.

6) Vgl. Buttler, G., Netzwerkplanung, a.a.O., S. 27.

nierung des gesamten Projektablaufes beeinflusst. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit beschränkt sich ein derartig konsolidierter Netzplan lediglich auf die Darstellung der Strukturverzweigungen, während die Bearbeitungsreihenfolge der linearen Sammelaktivitäten mit einer der oben aufgeführten Methoden verdeutlicht werden können.



Da die Methoden der Kapazitätsbelegung in den organisatorischen Vollzug der Arbeitsverteilung einzugliedern sind, sind die Verfahren der Reihenfolgeplanung für die Organisationstypen einer zentralen und dezentralen Arbeitsverteilung unterschiedlich zu konzipieren.

7.1.1. Zentrale Kapazitätsbelegung

Bei einer zentralen Organisation der Kapazitätsbelegung wird versucht, den organisatorischen Entscheidungsbereich auf den gesamten Fertigungsvollzug auszudehnen, um hierdurch die Interdependenzen der Faktorbelegung zu erfassen. Einerseits können demzufolge die Entscheidungen unmittelbar anhand übergeordneter, gesamtbetrieblicher Ziele beur-

teilt werden, andererseits werden die Ausführungs- und Entscheidungsaufgaben getrennt, so daß eine enge Kommunikation zwischen diesen Stellen erforderlich ist, um bei Störungen und Abweichungen sofort durch neue Entscheidungen die zielgerichtete Situation zu stabilisieren.

Die Ermittlung der optimalen Reihenfolge ist ein kombinatorisches Problem, das bereits bei relativ geringem Datenumfang einen nicht mehr vertretbaren Rechenaufwand erfordert. Die Anwendung dieser Methoden setzt daher voraus, daß durch die Konzipierung spezieller Algorithmen eine Begrenzung des Rechenaufwandes gelingt. Bisher sind derartige kombinatorische Verfahren nur für Spezialprobleme anwendbar.

Das von Müller-Merbach entwickelte Verfahren der begrenzten Enumeration⁷⁾ versucht bereits beim Aufbau der Reihenfolgen möglichst viele Kombinationen als nicht effizient auszuschließen. Zu diesem Zweck wird mittels heuristischer Verfahren eine Näherungslösung erarbeitet, die im Verlaufe des Enumerationsverfahrens verbessert werden soll. Läßt eine Reihenfolgeentwicklung eine schlechtere als die bisher beste Lösung erwarten, so wird diese Kettenbildung abgebrochen und eine neue Variante aufgebaut. Bisher sind nur Rechenversuche unter den einschränkenden Bedingungen "identical routing" und "passing not permitted" bekannt geworden⁸⁾, jedoch schreibt Müller-Merbach selbst diesem Ver-

7) Vgl. Müller-Merbach, H., Ein Verfahren zur Lösung von Reihenfolgeproblemen in der industriellen Fertigung, ZfWf 61, H.3, S. 147-152 (1966) sowie derselbe, Optimale Reihenfolgen, a.a.O., S. 177 ff.

8) Diese Bedingungen bedeuten, daß einmal sämtliche Aufträge über die gleiche Maschinenfolge verfügen und zum anderen kein Auftrag einen anderen überspringen darf (gleiche Auftragsfolge für alle Maschinen). Vgl. Müller-Merbach, H., Optimale Reihenfolge, a.a.O., S. 178.

fahren nur eine sehr begrenzte Anwendbarkeit⁹⁾ zu, da die Rechenzeiten nicht voraussagbar und zudem relativ lange sind.

Ein verhältnismäßig einfaches Verfahren ist von Johnson für die Zuordnung von 1 Aufträgen auf 2 Maschinen entwickelt worden, wobei ebenfalls eine gleichbleibende Maschinenfolge unterstellt wird.¹⁰⁾ Da hierbei stets eine Maschine kontinuierlich ausgelastet werden kann, wird die gesamte Leerzeit dann minimiert - von dieser Zielsetzung geht Johnson aus -, wenn die zweite Maschine eine möglichst lückenlose Belegung aufweist. Dies wird erreicht, wenn man den Auftrag mit der kleinsten Einzelbearbeitungszeit auswählt und ihn, falls der betreffende Arbeitsgang die Maschine 1 erfordert, am Beginn und ansonsten am Ende der Bearbeitungsreihenfolge einordnet. Durch die Weiterentwicklung von Mitten¹¹⁾, der Start- und Endverschiebungen zwischen den Arbeitsgängen eines Auftrages zuläßt, gelingt es, dieses Modell auf die Suboptimierung zweier Engpaßaggregat-
te anzuwenden.

Für den umgekehrten Fall, nämlich 2 Aufträge auf n Maschinen zuzuordnen, konzipierten Akers und Friedman¹²⁾ ein Modell, in dem eine unterschiedliche Maschinenfolge zulässig

-
- 9) Vgl. Müller-Merbach, H., Optimale Reihenfolgen, a.a.O., S. 185 f.
- 10) Vgl. Johnson, S.M., Optimal Two- and Three-Stage Produktion Schedules with Setup - Times Included, NRLQ 1954 (1), S. 61-68. Johnson erweiterte dieses Modell auch auf 3 Maschinen, allerdings existiert eine Optimal-
lösung für eine variierende Maschinenfolge bisher nicht. Vgl. Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 95 und S. 97.
- 11) Vgl. Mitten, L.G., A Scheduling Problem, An Analytical Solution Based Upon Two Machines, n Jobs, Arbitrary Start and Stop Lags, and Common Sequence, JIE. 1959, (10), S. 131-135.
- 12) Akers, S.B./Friedman, J., A Non-Numerical Approach to Produktion Scheduling, Problems, OR 1955 (3), S.429-442.

ist. Die Übertragung der in diesem Modell enthaltenen Kriterien zur Auswahl der "guten" Lösungen auf das allgemeine Zuordnungsproblem von 1 Aufträgen und n Maschinen bildete die Grundlage für die von Mensch entwickelte Diagonaltechnik¹³⁾, mit deren Hilfe sich auch das Optimum ermitteln läßt. Trotz allen Fortschritts ist jedoch der Rechenaufwand für die in der Praxis auftretenden Größenordnungen noch derart groß, daß der Einsatz der kombinatorischen Methoden für die Optimierung der gesamten Faktorbelegung zur Zeit nicht möglich ist.¹⁴⁾ Zudem vermögen diese Verfahren Verzweigungen in der Produktionsstruktur nicht zu erfassen, so daß sie sich nur für die Planung linearer Bearbeitungsfolgen eignen.

Eine optimale Planung der Kapazitätsbelegung bei baumartig konvergierenden Produktionsstrukturen erfordert daher eine Verbindung der netzplantechnischen Methoden mit den kombinatorischen Verfahren. Die gegenüber der linearen Struktur zunehmenden Freiheitsgrade lassen jedoch diesen Weg von vornherein noch schwieriger erscheinen, so daß es nicht verwundert, wenn man sich hier fast ausschließlich im Stadium der Ein-Projekt-Betrachtung befindet. Als einziges Verfahren zur Berechnung der Optimallösung von Netzen, in denen mehrere Aktivitäten den gleichen knappen Faktor benötigen, ist die Methode der begrenzten Enumeration bekannt¹⁵⁾, die jedoch nur für kleinere Probleme anwendbar ist. Ein allgemein beachtetes Näherungsverfahren - die Va-

-
- 13) Vgl. Mensch, G., Ablaufplanung, a.a.O., S. 87 f.; Riedesser, A., Der Diagonalalgorithmus zur Ablaufplanung, ZfbF 1971 (23), S. 649-669.
- 14) Vgl. Hahn, D., Industrielle Fertigungswirtschaft, 3. Teil, ZfO 1972 (8), S. 432; Niedereichholz, J., Grundlagen der optimalen ... Reihenfolgeplanung, a.a.O., S. 268.
- 15) Vgl. Müller-Merbach, H., Optimale Reihenfolgen, a.a.O., S. 200; Derselbe, Behandlung von Kapazitätsrestriktionen in der Netzplantechnik, a.a.O., S. 50.

riatoren-Enumeration - wurde von Fehler entwickelt.¹⁶⁾

Das Hauptinteresse konzentriert sich deshalb auf die Ableitung von Prioritätsregeln, mit deren Hilfe man die Faktorbelegung zielgerecht zu steuern versucht. Die Anwendung der Simulationstechnik schafft hierzu die Voraussetzung, indem sie es ermöglicht, die Zielerreichung von Entscheidungsregeln anhand von Beispielen zu testen und ihre Effizienz zu signifizieren.¹⁷⁾

Serielle Prioritätsregelverfahren¹⁸⁾ ordnen die Aufträge nach vorgegebenen Kriterien (z.B. Liefertermin, Bedeutung des Kunden) in eine Reihenfolge, in der diese sodann den Kapazitäten zugeteilt werden. Da derartige externe, auftragsbezogene Prioritäten jedoch den faktorbezogenen Aspekt der Kapazitätsbelegung vernachlässigen, eignen sie sich für die kurzfristige Kapazitätsdisposition wenig. Zu diesem Zweck konzipiert man daher meist parallele Prioritätsregelverfahren¹⁹⁾, die zeitlich fortschreitend die einzelnen Aktivitäten eines Zeitabschnittes gewichten und - soweit möglich - in dieser Reihenfolge den Potentialfaktoren zu teilen. Eine solche prozeßbezogene Gewichtung kann Merkmale einbeziehen (z.B. Bearbeitungszeit, früheste und späteste Termine, verfügbare Pufferzeiten, engpaßspezifische Deckungsbeiträge), die für die Belegung der Potentialfaktoren relevanter sind. Da man zudem die Prioritäten nach jeder Belegung (bzw. jedem Belegungsabschnitt) neu ver-

16) Vgl. Fehler, D., Die Variatoren-Enumeration. Ein Näherungsverfahren zur Planung des optimalen Betriebsmitteleinsatzes bei der Terminierung von Projekten, in: Elektr.DV. 1969 (11), S. 479-483.

17) Vgl. S. 97 dieser Arbeit.

18) Vgl. Kap. 1.4.2. auf S. 61 dieser Arbeit.

19) Vgl. Kap. 1.4.2. auf S. 62 dieser Arbeit.

teilen kann²⁰⁾, können die Konsequenzen vorausgegangener Entscheidungen bei der Prioritätsvergabe berücksichtigt werden. Diese Dynamisierung der Prioritäten vermag die Zielerreichung entscheidend zu verbessern.

In bestimmten Situationen kann auch eine Verbindung von kombinatorischen Methoden und Prioritätsregelverfahren zweckmäßig erscheinen. So lassen sich durch die Anwendung von Prioritätsregeln Näherungslösungen ermitteln, die dann lokal durch kombinatorische Verfahren verbessert werden können.²¹⁾

7.1.2. Dezentrale Arbeitsverteilung

Wird die kurzfristige Kapazitätsbelegung untergeordneten Instanzen übertragen, so kommt den Planungsverfahren die Aufgabe zu, mittels der Simulationstechnik operationale Handlungsimperative abzuleiten, die eine zufriedenstellende Erreichung des Oberzieles gewährleisten. Einmal abgeleitet, bestimmen derartige Entscheidungsregeln die kurzfristige Faktorbelegung.

Eine derartige dezentrale Steuerung der Faktorbelegung setzt jedoch voraus, daß die technologische Reihenfolge von einer Zentralstelle eindeutig vorbestimmt und der hieraus resultierende Auftragsdurchlauf an den Schnittstellen der jeweiligen Organisationseinheiten zentral koordiniert und kontrolliert wird.

20) Vgl. die Prioritätsregel von: Müller-Merbach, H., Optimale Reihenfolgen, a.a.O., S. 196; Fehr, E., Produktionsplanung und -steuerung mit EDV, Bern-Stuttgart 1968, S. 165; Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 170 f.

21) Vgl. Müller-Merbach, H., Optimale Reihenfolgen, a.a.O., S. 189; Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 122.

Da der Disponent nur innerhalb seiner fertigungstechnischen Organisationseinheit Entscheidungen treffen und deren Auswirkungen erkennen kann, sind Methoden mit einer gesamtbetrieblichen Zielsetzung für ihn nicht operational. Es verbleiben daher lediglich Prioritätsregeln, deren Kriterien eine problemlose Auswahl eines Auftrages aus der vorhandenen Warteschlange ermöglichen. Dynamische und vielschichtige Entscheidungsregeln scheiden wegen ihrer Anforderungen hinsichtlich der Informationsverarbeitung bei der dezentralen Arbeitsverteilung meist aus.

Die Prioritätsregeln steuern unmittelbar nur den Durchlauf der Aufträge durch die jeweilige Faktorgruppe, allerdings soll die für sämtliche Organisationseinheiten verbindliche Vorgabe eine befriedigende Erreichung der übergeordneten Zielsetzung gewährleisten. Da folglich den dezentralen Instanzen nur Verhaltensregeln vorgeschrieben werden und somit die Durchlaufzeit durch die Organisationseinheit erst zum Zeitpunkt der tatsächlichen Faktorbelegung bekannt ist, sind die Voraussetzungen für Terminprognosen wesentlich ungünstiger als bei der zentralen Kapazitätsbelegung.

In der Literatur sind eine große Zahl von Prioritätsregeln entwickelt, getestet und beschrieben worden²²⁾, so daß hier nur die wesentlichsten mit ihren Zielwirkungen - nach einer Tabelle von Hoss²³⁾ - wiedergegeben werden. Erfolgt die Belegung nach der "kürzesten-Operationszeit"-Regel (1), so wird aus der Warteschlange stets der Auftrag ausgewählt, der auf diesem Potentialfaktor die kürzeste Bearbeitungszeit (τ_{ij}) erfordert. Da infolgedessen innerhalb eines Zeit-

22) Keck, H., Vergleich von Prioritätsregeln mit Hilfe der Simulation, a.a.O., S. 230 ff.; Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 157 ff.; Mertens, P., Industrielle Datenverarbeitung I, 2. Aufl., Wiesbaden 1972, S. 230 f.; Krycha, K.T., Methoden der Ablaufplanung, a.a.O., S. 230 f.

23) Hoss, K., Fertigungsablaufplanung, a.a.O., S. 168.

Optimierungs- ziele \ Prioritäts- regel	kürzeste Operations- zeitregel (1)	Fertigungs- restzeit- regel (2)	Dynamische Wertregel (3)	Schlupf- zeit- regel (4)
Maximale Kapazitäts- ausnutzung	sehr gut	gut	mäßig	gut
Minimale Durchlaufzeit	sehr gut	gut	mäßig	mäßig
Minimale Zwischenlager- kosten	gut	mäßig	sehr gut	mäßig
Geringe Terminabweichung	schlecht	mäßig	mäßig	sehr gut

raumes sehr viele Aufträge bearbeitet und zu anderen Stationen weiterbefördert werden, ist die Auswirkung auf die Kapazitätsbelegung und die durchschnittliche Durchlaufzeit "sehr gut". Die gleichzeitige Verzögerung von Aufträgen mit langen Bearbeitungszeiten kann jedoch große Terminabweichungen hervorrufen. Der Forderung nach Termineinhaltung versucht die Schlupfzeitregel (4) zu genügen, indem sie die Bearbeitungsvorgänge nach der Größe ihrer Schlupfzeit²⁴⁾ ordnet. Da die Basisprozesse des "kritischen Weges" eine erhöhte Priorität erhalten, erreicht sie eine "sehr gute" Termineinhaltung. Die Fertigungsrestzeitregel (2) und die dynamische Wertregel (3) streben eine Verringerung der Zwischenlagerkosten an, wozu sie die Prozesse entweder nach ihren (spätest zulässigen) Vorlaufzeitkoeffizienten oder

24) Bei der dezentralen Arbeitsverteilung kann als Schlupfzeit die Differenz zwischen den Terminen der Grobplanung und dem momentanen Planungstermin verwendet werden.

nach ihrem momentanen Produktwert reihen. Abgesehen von den "zufälligen" Wirkungen auf Kapazitätsbelegung, Durchlaufzeit und Termineinhaltung bedürfen besonders die lagerspezifischen (und die kapitalbindungsrelevanten) Kostenkonsequenzen einer kritischen Analyse, da zum einen die Lagerkosten selbst nur begrenzt zurechenbar sind und zum anderen die Zahlungsströme sehr ungleich beeinflußt werden.²⁵⁾

Die unterschiedlichen Zielwirkungen dieser Entscheidungsregeln lassen es zweckmäßig erscheinen, durch eine Kombination einzelner Prioritätsregeln (z.B. (1) und (4)) einen insgesamt befriedigenden Produktablauf anzusteuern. Allerdings sind einer derartigen Anwendung mehrerer Entscheidungskriterien innerhalb einer Organisationseinheit entscheidungsträgerbedingte Grenzen gesetzt. Es bleibt zu prüfen, inwieweit eine Vergabe verschiedenartiger Prioritätsregeln an verschiedene Organisationseinheiten der übergeordneten Zielsetzung nahekommt. So könnte z.B. den stark ausgelasteten Faktorgruppen, bei denen vor allem die Termineinhaltung gefährdet ist, die Regel (4) und den sonstigen Gruppen die Regel (1) zugeordnet werden.

Die Planung der organisatorischen Reihenfolge - ob zentral oder dezentral - versucht, die Basisprozesse so aneinanderzureihen, daß eine optimale Zuordnung von Prozeß und Potentialfaktor erreicht wird. Dieses Vorgehen entspricht in der dynamischen Produktionsfunktion einer Anpassung der Vorlaufzeitkoeffizienten durch das Einfügen von Wartezeiten, die durch den reservierten Belegungszeitraum der bereits zugeordneten Prozesse hervorgerufen werden. Die Festlegung dieser Wartezeiten ist nur bei einer linearen Produktionsstruktur mittels rein kombinatorischer Methoden möglich, während "konvergierende" Fertigungsstrukturen zur

25) Vgl. Kapitel 2.3.2., S. 113 dieser Arbeit.

Koordination der linearen Zweige eine Koppelung mit der Netzplantechnik erfordern. Diese netzplantechnische Fundierung dürfte vor allem bei der auftragsbezogenen Disposition notwendig werden, während bei einer Bedarfsauflösung nach Dispositionsstufen die einzelnen Bearbeitungsaufträge (Lose) vorwiegend über lineare Strukturen verfügen.

7.2. Die kurzfristige Losgrößenplanung

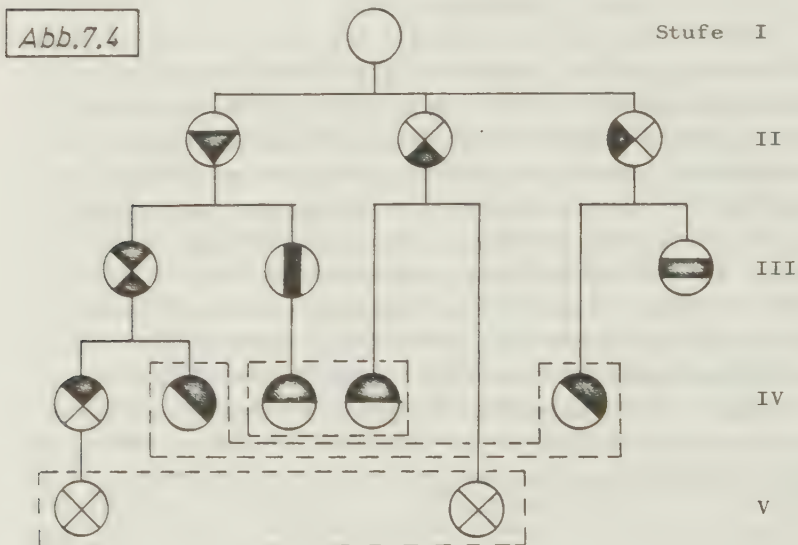
Mit der Festlegung der Losgröße bezweckt man eine Verringerung der erforderlichen Rüstprozesse. Dies wird erreicht, indem man gleichartige Produkte, die unterschiedliche Bedarfszeitpunkte aufweisen, zu einem Fertigungsauftrag $\mathcal{O}_{jk}$ zusammenfaßt.²⁶⁾ Um die Termine der nachgelagerten Fertigungsstufen einhalten zu können, ist eine derartige Zusammenfassung jedoch nur möglich, wenn später benötigte Teile bereits bei früher terminierten Bedarfsmengen mitgefertigt werden. Dieses Vorziehen der Produktion erfordert allerdings eine anschließende Lagerung, wodurch zusätzliche Lager- und Kapitalbindungskosten entstehen können. Da zudem eine solche "Umterminierung" die Kapazitätsbelegung beeinträchtigt, entsteht ein vielschichtiges Optimierungsproblem.²⁷⁾

Bei einer rein auftragsorientierten Fertigung sind die Freiheitsgrade für Losgrößenvariationen verhältnismäßig eng begrenzt. Um wenigstens sämtliche gleichartigen Teile eines Enderzeugnisses zusammenzufassen, wird der Teilebedarf zweckmäßigerweise nach Dispositionsstufen abgeleitet. Hierzu sind in der Fertigungsstruktur sämtliche gleichartigen Teile in der untersten Stufe auszuweisen, in der zum

26) Vgl. Kapitel 1.3., S. 38 dieser Arbeit.

27) Vgl. Ellinger, Th., Ablaufplanung, Stuttgart 1959, S. 88.

ersten Mal ein derartiges Teil benötigt wird. Die Abbildung 7.4, in der gleiche Teile durch gleiche Kreissymbole dargestellt werden, verdeutlicht diese Umstrukturierung der Fertigungsstufen in Dispositionsstufen z.B. durch die Teile der mittleren Baugruppe, die von ihrer höheren Fertigungsstufe auf niedrige Dispositionsstufen (V und IV) gesetzt worden sind. Aus der Fertigungsstruktur wird nun



der früheste Bedarfstermin errechnet und der gesamten Bedarfsmenge der Dispositionsstufe - sie ist in Abb. 3.4 jeweils durch einen strichlierten Linienzug zusammengefaßt - zugeordnet. Ist auf diese Weise für das gesamte Produktionsprogramm eine zulässige Kapazitätsbelegung ermittelt, so werden im nächsten Schritt die aus verschiedenen Aufträgen abgeleiteten terminierten Bedarfsmengen einer Zwischenproduktart unter der Zielsetzung eines kostenminimalen Fertigungsvollzuges zusammengefaßt. Da sich jedoch bei konkur-

rierender Produktion die Fertigungslose sämtlicher Zwischenproduktarten über die Kapazitätsbelegung gegenseitig beeinflussen, ist eine Lösung dieses kombinatorischen Problems für eine realistische Größenordnung nur mittels heuristischer Verfahren möglich.²⁸⁾

Im Rahmen einer marktorientierten Fertigung nehmen die Freiheitsgrade bei der Bestimmung der Losgröße erheblich zu, da die Auftragsgrößen als Variable selbständig aus den prognostizierten Absatzkurven abzuleiten sind.

Legt man zunächst eine einstufige Mehrproduktfertigung zugrunde, so zeigt sich bereits, daß eine isolierte Optimierung mit Hilfe der klassischen Losgrößenformel (7.1) nur sehr selten durchführbar ist.

$$(7.1) \quad x = \sqrt{\frac{2as}{e(1 - \frac{s}{r})}}$$

a = losfixe Kosten

e = Lagerhaltungskosten je Mengen- und Zeiteinheit

s = konstante Absatzgeschwindigkeit

r = konstante Produktionsgeschwindigkeit

Abgesehen von den hierin enthaltenen speziellen Annahmen²⁹⁾ werden nämlich meist kapazitive Beschränkungen wirksam, die eine simultane Planung aller Produktarten erfordern. Diese gelingt unter der Annahme eines vorgegebenen Produktionszyklus's, wobei allerdings dessen Wahl den Ergebnisbereich

28) Vgl. hierzu das Verfahren von Anderegg, J., Das Losgrößenproblem im Rahmen der kurzfristigen Programmplanung, ZfbF 1970 (22), S. 108-127.

29) Eine Erweiterung der einfachen Losgrößenformel wurde von Pack vorgenommen: Pack, L., Optimale Bestellmenge und optimale Losgröße, ZfB 1963 (33), S. 475 ff. und S. 573 ff.

wesentlich beschränkt.³⁰⁾ Meistens ermittelt man daher die individuellen Losgrößenoptima und wandelt sie unter Beachtung ihrer Sensitivität soweit ab, bis eine zulässige Gesamtlösung entsteht.³¹⁾ Zwar wurden auch simultane Modelle unter Einbezug von Kapazitätsbeschränkungen entwickelt³²⁾, ihre Bedeutung ist wegen der numerischen Lösungsproblematik aber meist theoretischer Art.

Bei mehrstufigen Produktionsprozessen, bei denen die Durchlaufzeit wegen der zahlreichen Faktorwechsel im wesentlichen durch die belastungsbedingten Wartezeiten bestimmt wird, ist eine simultane Planung von Losgrößen und Fertigungsablauf bisher nur in heuristischen Ansätzen vorhanden.³³⁾ Man gibt sich daher meist mit einer Sukzessivplanung zufrieden, indem man die einzelnen Dispositionsstufen durch Zwischenschaltung von Lagern verhältnismäßig selbstständig disponiert. Nach Ableitung der Losgrößen für die oberste Dispositionsstufe können die Bedarfskurven der nachgeordneten Dispositionsstufen ermittelt werden, die dann die Ausgangsbasis für die Losgrößenplanung dieser Zwischenprodukte bilden. Zwar vermag ein solches Vorgehen keinen Optimalzustand zu erzeugen, durch parametrische Variation können aber mit vertretbarem Aufwand brauchbare Lösungen erzielt werden.

-
- 30) Vgl. hierzu u.a.: Magee, J.F., Produktion Planing and Inventory Control, New York, McGraw-Hill, 1958, S.56 ff.; Müller-Merbach, H., Die Bestimmung optimaler Losgrößen bei Mehrproduktfertigung, Diss. Darmstadt 1962, S.34 ff.
- 31) Vgl. Dinkelbach, W., Zum Problem der Produktionsplanung in Ein- und Mehrproduktunternehmen, Würzburg-Wien 1964, S. 53.
- 32) Vgl. Adam, D., Produktionsplanung bei Sortenfertigung, Wiesbaden 1969, S. 152 ff.; Dinkelbach, W., a.a.O., S. 58 ff.
- 33) Vgl. Müller, E., Simultane Lagerdisposition und Fertigungsablaufplanung bei mehrstufiger Mehrproduktfertigung, Berlin-New York 1972, S. 30 ff.

Die hier skizzierte Losgrößenplanung findet ihr produktionstheoretisches Analogon in der Festlegung der periodenbezogenen Auflagengröße y_{jz} , wobei vor allem aufgezeigt worden ist, wie die Freiheitsgrade der Losgrößenbestimmung von der jeweils angewandten Dispositionsform beeinflußt werden.³⁴⁾ Lediglich eine dynamische Produktionsfunktion vermag die zeitlich-mengenmäßigen Nebenbedingungen der Disposition³⁵⁾ darzustellen (z.B. fristgerechte Deckung des Summenbedarfes) und die aus der Losgrößenplanung resultierende Kapazitätsbelegung (bzw. den entsprechenden Kapazitätsbedarf) auf ihre Zulässigkeit zu überprüfen.

34) Vgl. Kapitel 1.3., S. 38 dieser Arbeit.

35) Vgl. S. 43 dieser Arbeit.

SCHLUSSBETRACHTUNG

Ausgehend von einem gegebenen Fertigungsprogramm wurden zu Beginn dieser Untersuchung die produktions- und kosten-theoretischen Aspekte der Kapazitätsdisposition analysiert, um eine Grundlage für die Beurteilung konkreter Planungstechniken zu schaffen. Bei dieser Analyse zeigte sich, daß die statischen Produktionsfunktionen den für die Ermittlung des Kapazitätsbedarfes und der Kapazitätsausnutzung erforderlichen Zeitbezug nicht enthalten und somit für die Kapazitätsdisposition als produktionstheoretische Erklärungsmodelle - abgesehen von zwei Ausnahmesituationen¹⁾ - nicht geeignet sind. Als Konsequenz wurde die Produktionsfunktion vom Typ C - sie bildete den produktionstheoretischen Ansatzpunkt dieser Arbeit - zu einem dynamischen Modell weiterentwickelt, in das der production time lag zwischen Endprodukt und Zwischenprodukten einbezogen ist. Zugleich wurde die Dispositionsform als Determinante der Produktionsfunktion eingeführt, um die zeitlich-mengenmäßigen Freiheitsgrade des Fertigungsablaufes erfassen zu können. Das Resultat dieser Bemühungen ist ein Erklärungsmodell, das den technisch-organisatorischen Produktionsvollzug wirklichkeitsgetreu wiederzugeben vermag und demnach eine Grundlage zur Beurteilung konkreter Planungsmodelle hinsichtlich ihrer produktionstheoretischen Fundierung abgibt.

Der Übergang zu den operationsanalytischen Modellen der Kapazitätsdisposition erfordert die Formulierung operationaler Zielfunktionen. Dies ruft insofern neue Probleme hervor, als die Operationalität von Kostenzielen - die Kostenminimierung wurde als Oberziel unterstellt - wegen der kostenmäßigen u n d zeitlichen Auswirkungen alternativer

1) Vgl. S. 17 f. dieser Arbeit.

Kapazitätsbelegungen nicht in jeder Situation gewährleistet ist. Bei einer zentralen Ablaufplanung können aber Kostenziele durchaus der Operationalitätsbedingung genügen. Die Definition der Kostenelemente einer solchen Zielfunktion sollte die Grenzen ihrer Anwendbarkeit veranschaulichen.

Die Verwendung zeitlicher Ziele erhöht wegen der Aggregationsprobleme innerhalb der faktorbezogenen und der auftragsbezogenen Zeiten die Operationalität nicht wesentlich. Zudem besteht nur in speziellen Situationen eine Mittel-Zweck-Beziehung zwischen den jeweiligen Zeitzielen und dem Kostenziel. In diesem Zusammenhang wurde vor allem das meist vorbehaltlos unterstellte "Ablaufplanungsdilemma" kritisch diskutiert, indem die Relevanz der zugrundeliegenden Zeitziele und ihre wechselseitige Beziehung untersucht wurden.

Bei einer dezentralen Produktionssteuerung bilden häufig nur Prioritätsregeln operationale Handlungsimperative. Aus der oben dargelegten Untersuchung ergab sich, daß die Zielwirkungen dieser Entscheidungsrichtlinien - soweit möglich - nicht an Zeitzielen, sondern direkt am Kostenziel abzuleiten sind.

Neben den bisher aufgeführten Strukturmerkmalen - Formulierung der Zielfunktion und Einbezug produktionstheoretischer Zusammenhänge - enthalten die operationsanalytischen Modelle der Kapazitätsdisposition noch eine Fülle von Prozeßmerkmalen, die das Modellergebnis wesentlich beeinflussen. Die Auswirkungen dieser Struktur- und Prozeßentscheidungen sind bei der Ergebnisbewertung ebenso zu berücksichtigen wie die Ziele und Zusammenhänge, die als nicht-quantifizierbar vernachlässigt worden sind. Das Modell erhält hierdurch eine "organisationale Relativierung".

Die Entwicklung des produktionstheoretischen Instrumentariums und die Untersuchung der Zeit-Kosten-Problematik bildete die Voraussetzung für die anschließende Analyse der gebräuchlichsten Kapazitätsplanungsmethoden. Hierbei wurde ersichtlich, daß die Netzplantechnik die produktionstheoretischen Zusammenhänge am vollständigsten erfaßt, da sie sowohl die Fertigungsstruktur als auch die zeitliche Prozeßanordnung darzustellen vermag. Wegen des großen formalen und rechnerischen Aufwandes konnte sie jedoch bisher nicht mit einem Entscheidungsverfahren zur simultanen Abstimmung sämtlicher kapazitiven Anpassungsinstrumente²⁾ gekoppelt werden. Vielmehr versuchte man bisher fast ausschließlich, durch Anwendung von Prioritätsregeln die einzelnen Prozesse (Aktivitäten) so zu verschieben, daß die unterstellten zeitlichen Zielsetzungen zufriedenstellend erreicht waren. In dieser Arbeit wurde eine Zielfunktion entwickelt, die eine Zuordnung der Anpassungskosten von Kapazität und Kapazitätsbedarf ermöglichen soll, so daß neben den bewerteten Zeitwirkungen auch der direkte Faktorverzehr erfaßt werden kann. Auf dieser Grundlage können somit sämtliche Anpassungsinstrumente eingesetzt werden, allerdings ist wegen fehlender Optimierungsverfahren bisher nur ihre sukzessive Abstimmung möglich. Die Netzplantechnik vermag also die Auswirkungen der Kapazitätsentscheidungen auf den Fertigungsablauf produktionstheoretisch fundiert wiederzugeben, allerdings eignet sie sich nur bedingt zur Berechnung optimaler Parameterwerte.

Die stochastische Warteschlangentheorie hingegen kann zwar in ihrer analytischen Form die optimale Kapazitätsausstattung explizit berechnen, ihr ermangelt es aber wegen der starken Aggregierung, der zufallsbedingten Ankunfts- und Bedienungsraten und der rein stationären Analyse im allge-

2) Vgl. Kapitel 3.4. und 3.5. auf S. 147 und S. 172 dieser Arbeit.

meinen an der notwendigen produktionstheoretischen Substanz. Die Analyse instationärer Warteschlangensysteme und der Einsatz gezielter Prioritätsregeln sowie sonstiger Anpassungsinstrumente des Kapazitätsbedarfes erfordert daher die Anwendung der Simulationstechnik. Hierdurch wird einerseits die produktionstheoretische Fundierung ausgeweitet, andererseits ist aber die konkret-rechnerische Unterstützung der Ausstattungsentscheidung nur mehr mittels sukzessiver - meist heuristischer - Lösungsprozesse möglich.

Die lineare Optimierung - dargestellt bei der Planung eines Betriebssystems - erfaßt wegen ihrer Aggregierung und ihrer linearen Struktur meist nur wenige produktionstheoretische Entscheidungstatbestände, kann aber mit der Produktionsfunktion zweckmäßig gekoppelt werden. Hierzu werden im Optimierungsverfahren lediglich einige Anpassungsinstrumente simultan festgelegt, während die "eingefrorenen" Parameter außerhalb des Optimierungsprozesses zu variieren sind. Bei dieser parametrischen Variation werden mit Hilfe der Produktionsfunktion die aggregierten Koeffizienten ermittelt, die dann jeweils den Optimierungsrechnungen zugrunde zulegen sind.

Die Belegung der Kapazitäten erfordert eine weitergehende Spezifizierung, bei der die Organisation des Fertigungsablaufes nicht mehr außer acht gelassen werden kann. Die Methoden der Kapazitätsbelegung wurden daher für die extremen Organisationstypen der Fließ- und Werkstattfertigung getrennt dargestellt. Bei der Fließfertigung sind die Prozesse den Potentialfaktoren so zuzuordnen, daß die jeweiligen Arbeitspakete zeitlich aufeinander abgestimmt sind. Hierzu wurden die Bedingungen der zeitlichen Abstimmung produktionstheoretisch formuliert und so die Beschränkungen aufgezeigt, die durch die Einordnung der Prozesse in ein derartiges Zeitraster (Taktzeit) hervorgerufen werden. Die kapazitive Anpassung eines Fließbandes ist dann lediglich

noch durch eine Variation der Betriebszeit oder durch eine Änderung der intensitätsmäßigen Kapazitätsausnutzung möglich. Da aufgrund der Identität von auftragsbezogener Wartezeit und faktorbezogener Leerzeit das "Ablaufplanungsdilemma" durch die Komplementarität der Zeitziele behoben wird, kann unter der Voraussetzung konstanter Prozeßzeiten bei der zeitlichen Abstimmung des Fließbandes das Kostenziel durch ein Zeitziel ersetzt werden. Werden jedoch bei der Fließbandabstimmung auch die Prozeßzeiten variiert, so ist der hierdurch verursachte Faktorverzehr nur durch ein Kostenziel erfaßbar.

Die Kapazitätsbelegung der Werkstattfertigung wurde wegen des Problemumfanges nur unter dem Aspekt der Reihenfolge- und Losgrößenplanung betrachtet. Die vorhandene Modellfülle machte zudem eine Beschränkung auf die Darstellung der grundsätzlichen Lösungsmethoden erforderlich, doch wurde deutlich, daß exakte Optimierungsverfahren entweder nur auf Spezialprobleme anwendbar oder nicht genügend produktionstheoretisch fundiert (z.B. Losgrößenformel) sind. In den meisten Fällen ist man daher auf heuristische Lösungsverfahren angewiesen.

Die Überprüfung der Isomorphie von Planungsmodell und Realität kann letztlich nur aus der jeweiligen Entscheidungssituation heraus erfolgen, doch vermag die dynamische Produktionsfunktion vom Typ C aufgrund ihres umfassenden technisch-organisatorischen Realitätsgehaltes durchaus eine brauchbare Grundlage für die Beurteilung produktionswirtschaftlicher Planungsmodelle darzustellen. Da sie die Beziehungen zwischen den relevanten, quantifizierbaren Entscheidungstatbeständen des Produktionsbereiches erfaßt bzw. erfassen kann, scheint sie zudem als Fundament für eine weitere Integration suboptimierender Verfahren und eine Erweiterung simultaner Methoden geeignet zu sein.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

DB	Der Betrieb
Elektr. DV	Elektronische Datenverarbeitung
FB	Fortschrittliche Betriebsführung
JIE	The Journal of Industrial Engineering
JO	Industrielle Organisation
NRLQ	Naval Research Logistics Quarterly
OR	Operations Research
ZfbF	Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung
ZfB	Zeitschrift für Betriebswirtschaft
ZfhF	Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung
ZfO	Zeitschrift für Organisation
ZfwF	Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung
WPg	Die Wirtschaftsprüfung

LITERATURVERZEICHNIS

- ACKOFF, R.L./
SASIENI, M.W. Operations Research, Verlag
Kunst und Wissen, Stuttgart
1970
- ADAM, D. Das Interdependenzproblem in der
Investitionsrechnung und die Mög-
lichkeit einer Zurechnung von
Erträgen auf einzelne Investi-
tionsobjekte, DB 1966, S. 989-
993
- ADAM, D. Entscheidungsorientierte Kosten-
bewertung, Betriebswirtschaftli-
cher Verlag Dr. Th. Gabler,
Wiesbaden 1970 (Zitierweise:
Kostenbewertung)
- ADAM, D. Produktionsplanung bei Sorten-
fertigung, Ein Beispiel zur Theo-
rie der Mehrproduktunternehmung,
Betriebswirtschaftlicher Verlag
Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1969
- AKERS, S.B./FRIEDMAN, J. A Non-Numerical Approach to Pro-
duction Scheduling, Problems,
OR 1955 (3), S. 429-442
- ALBACH, H. Informationswert, in: Grochla, E.
(Hrsg.), Handwörterbuch der Or-
ganisation, C.E. Poeschel Verlag,
Stuttgart 1969, Sp. 720-727
- ALBACH, H. Zur Verbindung von Produktions-
theorie und Investitionstheorie,
in: Koch, H. (Hrsg.), Zur Theo-
rie der Unternehmung, Festschrift
für Erich Gutenberg, Betriebs-
wirtschaftlicher Verlag Dr. Th.
Gabler, Wiesbaden 1962, S. 137-
203

- ALTROGGE, G. Entscheidungsbäume und Modellrechnungen als Hilfen im Entscheidungsprozeß, WPg 1972 (25), S. 57-62
- ANDEREGG, J. Das Losgrößenproblem im Rahmen der kurzfristigen Programmplanung, ZfbF 1970 (22), S. 108-127
- ANGERMAN, A. Entscheidungsmodelle, Verlag Franz Nowack, Frankfurt a. Main 1963
- BERBIG, R./FRANKE, F. Netzplantechnik, 2. Auflage, VEB-Verlag für Bauwesen, Berlin 1969
- BRACHVOGEL, U./
KOXHOLT, R. Ein Modell zur Simulation einer Fließfertigung unter der Annahme kontinuierlichen Fertigungsflusses, in: Bussmann, K.F./Mertens, P. (Hrsg.), Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung, C.E. Poeschel Verlag, Stuttgart 1968, S. 373-387
- BRANKAMP, K. Ein Terminplanungssystem für Unternehmen der Einzel- und Serienfertigung, Physica-Verlag, Würzburg-Wien 1968 (Zitierweise: Terminplanungssystem)
- BUDIL, W. Die Netzplantechnik, Ein neues System zur wirkungsvollen Projekt- und Terminplanung, ZfO 1965 (34), S. 41-51
- BURGESS, A.R./
KILLEBREW, J.B. Variation in Activity Level on a Cyclical Arrow Diagram, in: JIE XIII (1962), S. 76-83

- BUSSE VON COLBE, W. Die Planung der Betriebsgröße,
Betriebswirtschaftlicher Verlag
Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1964
- BUSSMANN, K.F./BEISSEL, H.S./BRACHVOGEL, U./
HÄNISCH, J./KÖXHOLT, R./KRAUS, P./MERTENS, P.
Ein Vergleich von Fließbandab-
stimmungsverfahren, in: Busmann,
K.F./Mertens, P. (Hrsg.), Opera-
tions Research und Datenverar-
beitung bei der Produktionspla-
nung, C.E. Poeschel Verlag,
Stuttgart 1968, S. 313-356
- BUTTLER, G. Netzwerkplanung, Physica-Verlag,
Würzburg-Wien 1968
- CHURCHMAN, C.W./ACKOFF, R.L./
ARNOFF, E.L. Operations Research, 4. Auflage,
Verlag R. Oldenbourg, Wien-
München 1968
- CONWAY, R.W./JOHNSON, B.M./
MAXWELL, W.L. An Experimental Investigation
of Priority Dispatching, JIE 11
(1960), Heft 3, S. 221-229
- CONWAY, R.W./MAXWELL, W.L. Network Dispatching by the
Shortest Operation Discipline,
OR 10 (1962), S. 51-73
- DELLMANN, K. Die Bestimmung optimaler Bedie-
nungssysteme bei Mehrstellenar-
beit, Carl Heymann's Verlag,
Köln-Berlin-Bonn-München 1971
- DICKHUT, E.O. Zur Problematik der optimalen
Fertigungsablaufplanung in der
Einzel- und Kleinserienferti-
gung, Diss. TH Aachen 1966

- DINKELBACH, W. Zum Problem der Produktionsplanung in Ein- und Mehrproduktunternehmen, Physica-Verlag, Würzburg-Wien 1964
- DOMSCH, M./GABELIN, Th. Der Aufbau eines Systems zur Personaleinsatzplanung, ZfB 1971 (41), S. 59-76
- ELLINGER, Th. Ablaufplanung, Grundfragen der Planung des zeitlichen Ablaufs der Fertigung im Rahmen der industriellen Produktionsplanung, C.E. Poeschel Verlag, Stuttgart 1959
- ENGELS, W. Betriebswirtschaftliche Bewertungslehre im Lichte der Entscheidungstheorie, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen 1962
- FÄSSLER, K./REICHWALD, R. Fertigungswirtschaft, in: Heinen, E. (Hrsg.), Industriebetriebslehre, Entscheidungen im Industriebetrieb, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1972, S. 249-343
- v.FALKENHAUSEN, H./KECK, H. Prioritätsregel bei der Ablaufplanung, in: Bussmann, K.F./Mertens, P. (Hrsg.), Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung, C.E. Poeschel Verlag, Stuttgart 1968, S. 228-256
- FALTTHAUSER, R. Verschnittoptimierung, in: Bussmann, K.F./Mertens, P. (Hrsg.), Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung, C.E. Poeschel Verlag, Stuttgart 1968

- FEHLER, D. Die Variatoren-Enumeration, Ein Näherungsverfahren zur Planung des optimalen Betriebsmitteleinsatzes bei der Terminierung von Projekten, Elektr.DV 1969 (11), S. 479-483
- FEHR, E. Produktionsplanung und -steuerung mit EDV, Verlag Paul Haupt, Bern-Stuttgart 1968
- FÖRSTNER, K./HENN, R. Dynamische Produktionstheorie und lineare Programmierung, Verlag Anton Hain, Meisenheim/Glan 1957
- FRIEDMAN, M.D. Reduktion Methods for Tandem Quening Systems, OR 13 (1965), S. 121-131
- FUCHS, H. Systemtheorie, in: Grochla, E. (Hrsg.), Handwörterbuch der Organisation, Verlag C.E. Poeschel, Stuttgart 1969, Sp. 1618-1630
- GÜBELI, L. Terminsteuerung mittels Netzplantechnik, JO 1966 (35), S. 408-414
- GÜNTHER, H. Das Dilemma der Arbeitsablaufplanung, Zielverträglichkeiten bei der zeitlichen Strukturierung, Verlag E. Schmidt, Berlin 1971 (Zitierweise: Das Dilemma)
- GÜNTHER, H. Trilemma oder Dilemma der Ablaufplanung, ZfB 1972, S. 297-300
- GUTENBERG, E. Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Band I: Die Produktion, 18. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1971 (Zitierweise: Produktion)

- HABERFELLNER, R./RUTZ, K. Integrierte Produktionssteuerung, Teil 1: Versuch einer allgemeinen Darstellung, Teil 2: Erläuterungen und ausgewählte Methoden zu den Hauptgebieten, in: Produktionsplanung und -steuerung mit EDV, Verlag Industrielle Organisation, Zürich 1971, S. 5-71
- HAHN, D. Industrielle Fertigungswirtschaft in entscheidungs- und systemtheoretischer Sicht, ZfO 1972 (41), Heft 6, 7 und 8, S. 269-278; 369-380; 427-439
- HAMMER, H. Integrierte Produktionssteuerung mit Modularprogrammen, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1970
- HEINEN, E. Betriebswirtschaftliche Kostenlehre, Kostentheorie und Kostenentscheidungen, 3. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag, Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1970 (Zitierweise: Kostenlehre)
- HEINEN, E. Das Kapital in der betriebswirtschaftlichen Kostentheorie, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1966 (Zitierweise: Das Kapital)
- HEINEN, E. Das Zielsystem der Unternehmung, Grundlage betriebswirtschaftlicher Entscheidungen, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1966 (Zitierweise: Zielsystem)
- HEINEN, E. Der entscheidungsorientierte Ansatz der Betriebswirtschaftslehre, ZfB 1971 (41), S. 429-444

- HEINEN, E. Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1968
- HEINEN, E. Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre, in: Heinen, E. (Hrsg.), Industriebetriebslehre, Entscheidungen im Industriebetrieb, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1972, S. 25-68
- HEINEN, E./FAHN, E./WEGENAST, C. Informationswirtschaft, in: Heinen, E. (Hrsg.), Industriebetriebslehre, Entscheidungen im Industriebetrieb, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1972, S. 684-795
- HERRIGER, H. Pufferlager in einer ausfallanfälligen Fließfertigung, in: Bussmann, K.F./Mertens, P. (Hrsg.), Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung, C.E. Poeschel Verlag, Stuttgart 1968, S. 356-372
- HÖHER, W. Einführung in die Netzplantechnik, in: Jacob, H. (Hrsg.), Schriften zur Unternehmensführung, Band 9: Anwendung der Netzplantechnik im Betrieb, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1969
- HOSS, K. Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden, Physica-Verlag, Würzburg-Wien 1965 (Zitierweise: Fertigungsablaufplanung)
- JACKSON, J.R. Networks of Waiting Lines, OR 5 (1967), S. 518-521

- JOBS, H.G. Produktionsfunktionen und Produktionsmodelle, Diss. Regensburg 1969
- JOHNSON, S.M. Optimal Two- and Three-Stage Production Schedules with Setup-Times Included, NRLQ 1954 (1), S. 61-68
- JUDIN, D.B./GOLSTEIN, E.G. Lineare Optimierung I, Akademie Verlag, Berlin 1968
- KAUFFMANN, A. Kosten- und Investitionstheorie als betriebswirtschaftliche Ansätze zur Lösung des Allokationsproblems, Diss. München 1970
- KECK, H. Vergleich von Prioritätsregeln mit Hilfe der Simulation, Eine Literaturübersicht, in: Busmann, K.F./Mertens, P. (Hrsg.), Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung, C.E. Poeschel Verlag, Stuttgart 1968, S. 230-249
- KERN, N. Netzplantechnik. Betriebswirtschaftliche Analyse von Verfahren der industriellen Terminplanung, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1969
- KERN, W. Optimierungsverfahren in der Ablauforganisation, Gestaltungsmöglichkeiten mit Operations Research, Verlag Girardet, Essen 1967 (Zitierweise: Optimierungsverfahren)
- KERN, W. Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihre Ausnutzung, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen 1962 (Zitierweise: Kapazitätsmessung)

- KILGER, W. Die optimale Planung kapazitäts-
erhöhender Mehrarbeitszeiten und
Zusatzschichten im Industriebe-
trieb, ZfbF 1971 (23), S. 776-
792
- KILGER, W. Optimale Verfahrenswahl bei ge-
gebenen Kapazitäten, in: Moxter,
A. u.a. (Hrsg.), Produktions-
theorie und Produktionsplanung,
Festschrift für Karl Hax, West-
deutscher Verlag, Köln und Opla-
den 1966, S. 155-190
- KILGER, W. Produktions- und Kostenlehre,
Betriebswirtschaftlicher Verlag
Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1958
- KIRSCH, W. Entscheidungsprozeß, Band I:
Verhaltenswissenschaftliche An-
sätze der Entscheidungstheorie,
Band II: Informationsverarbei-
tungstheorie des Entscheidungs-
verhaltens, Band III: Entschei-
dungen in Organisationen,
Betriebswirtschaftlicher Verlag
Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1970/71
- KIRSCH, W. Heuristische Entscheidungsmodel-
le im Lichte der entscheidungs-
und systemorientierten Betriebs-
wirtschaftslehre, in: Klein, H.,
Heuristische Entscheidungsmodel-
le, Betriebswirtschaftlicher
Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden
1971
- KLEIN, H.K. Heuristische Entscheidungsmodelle,
Neue Techniken des Programmierens
und Entscheidens für das Manage-
ment, Betriebswirtschaftlicher
Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden
1971
- KLOOCK, J. Betriebswirtschaftliche Input-
Output-Modelle, Ein Beitrag zur
Produktionstheorie, Betriebswirt-
schaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler,
Wiesbaden 1969

- KLOOCK, J. Zur gegenwärtigen Diskussion der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie und Kostentheorie, ZfB 1969 (39), 1. Ergänzungsheft, S. 49-89
- KOESSEBEL, H. Die Behandlung mehrfach qualifizierter Arbeitskräfte bei der Personalplanung, ZfB 1971 (41), S. 167-184
- KOSIOL, E. Einführung in die Betriebswirtschaft, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1968
- KOSIOL, E. Kalkulatorische Buchhaltung, 4. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1950
- KOSIOL, E. Modellanalyse als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen, ZfhF 1961 (13), S. 318-334
- KRELLE, W. Preistheorie, Verlag J.C.B. Mohr, Tübingen 1961
- KRYCHA, K.T. Methoden der Ablaufplanung, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt/M.-Zürich 1972
- KUPSCH, P.U. Risiko und Entscheidung, Ein Beitrag zur Fundierung betriebswirtschaftlicher Grundmodelle unter dem Aspekt des Risikoverhaltens, Diss. München 1971
- LASSMANN, G. Die Produktionsfunktion und ihre Bedeutung für die betriebswirtschaftliche Kostentheorie, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen 1958

- LINTZHÖFT, H. Die Kosten für den Einsatz sachlicher Potentialfaktoren, Diss. Hamburg 1968
- LIPKA, A. Organisation der Datenverarbeitung für die Fertigung, Oldenbourg Verlag, München-Wien 1967
- LÜCKE, W. Produktions- und Kostentheorie, Physica-Verlag, Würzburg-Wien 1969
- MAGEE, J.F. Production Planing and Inventory Control, McGraw-Hill, New York 1958
- MENSCH, G. Ablaufplanung, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen 1968
- MERTENS, P. Industrielle Datenverarbeitung I, 2. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1972
- MERTENS, P. Simulation, Verlag C.E. Poeschel, Stuttgart 1969
- MITTEN, L.G. A Scheduling Problem, An Analytical Solution Based Upon two Machines, n Jobs, Arbitrary Start and Stop Lags, and Common Sequence, JIE 1959 (10), S. 131-135
- MÜLLER, E. Simultane Lagerdisposition und Fertigungsablaufplanung bei mehrstufiger Mehrproduktfertigung, Verlag Walter de Gruyter, Berlin-New York 1972
- MÜLLER, J. Produktionstheorie, in: Ehrlicher, W. u.a. (Hrsg.), Kompendium der Volkswirtschaftslehre, Verlag Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1969, S. 75-123

- MÜLLER-MERBACH, H. Behandlung von Kapazitätsrestriktionen in der Netzplantechnik, in: Jacob, H. (Hrsg.), Schriften zur Unternehmensführung, Band 9: Anwendung der Netzplantechnik im Betrieb, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden 1969, S. 41-52
- MÜLLER-MERBACH, H. Die Bestimmung optimaler Losgrößen bei Mehrproduktfertigung, Diss. Darmstadt 1962
- MÜLLER-MERBACH, H. Ein Verfahren zur Lösung von Reihenfolgeproblemen in der industriellen Fertigung, ZfwF 1966 (61), Heft 3, S. 147-152
- MÜLLER-MERBACH, H. Operations Research, 2. Auflage, Verlag Franz Vahlen, München 1972
- MÜLLER-MERBACH, H. Optimale Reihenfolgen, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1970
- NIEDEREICHHOLZ, J. Grundlagen der optimalen organisatorischen Reihenfolgeplanung in der Arbeitsvorbereitung, ZfO 1970, Heft 6, S. 262-269
- NIESCHLAG, R./DICHTL, E./
HÖRSCHGEN, H. Marketing, 4. Auflage, Verlag Duncker & Humblot, Berlin 1971
- PACK, L. Optimale Bestellmenge und optimale Losgröße, ZfB 1963 (33), S. 465-492 und S. 573-594
- PRESSMAR, D. Die Kosten-Leistungs-Funktion industrieller Produktionsanlagen, Diss. Hamburg 1968

- RIEBEL, P. Die Bereitschaftskosten in der entscheidungsorientierten Unternehmerrechnung, ZfbF 1970 (22), S. 372-386
- RIEBEL, P. Die Fragwürdigkeit des Verursachungsprinzips im Rechnungswesen, in: Layer, M./Strebel, H. (Hrsg.), Rechnungswesen und Betriebswirtschaftspolitik, Festschrift für Gerhard Krüger, Verlag E.Schmidt, Berlin 1969, S. 49-64
- RIEBEL, P. Ertragsbildung und Ertragsverbundenheit im Spiegel der Zurechenbarkeit von Erlösen, in: Riebel, P. (Hrsg.), Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Ertragslehre, Festschrift für Erich Schäfer, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen 1971, S. 147-200
- RIEDESSER, A. Der Diagonalalgorithmus zur Ablaufplanung, ZfbF 1971 (23), S. 649-669
- ROSENKRANZ, F. Netzwerktechnik und wirtschaftliche Anwendung. Mit besonderer Berücksichtigung der Netzplantechnik, Verlag Anton Hain, Meisenheim am Glan 1968
- ROY, B. Cheminement et connexité dans le graphes - Application aux problèmes d'ordonnancement, Metra serie speciale Nr. 1, Paris 1962, S. 1-137
- ROY, B. Der Beitrag der Graphentheorie zur Untersuchung von Ablaufproblemen, in: Roy, B. (Hrsg.), Ablaufplanung, Anwendung und Methoden, Verlag R. Oldenbourg, München-Wien 1968, S. 155-177

- ROY, B. Die Physiognomie der Ablaufprobleme und Netzplantechnik, in: Roy, B. (Hrsg.), Ablaufplanung, Anwendung und Methoden, Verlag R. Oldenbourg, München-Wien 1968, S. 9-32
- SCHMIDT, R. Kapazitätsplanung in stochastischen Produktionssystemen, Verlag Anton Hain, Meisenheim/Glan 1968 (Zitierweise: Kapazitätsplanung)
- SCHNEIDER, E. Einführung in die Wirtschaftstheorie, II. Teil, 13. Auflage, Verlag J.C.B. Mohr, Tübingen 1972
- SCHWARZE, J. Strukturmodelle der Netzplantechnik, ZfbF 1970 (22), S. 699-726
- SELCHERT, F.W. Lagerkapazitäten und die Möglichkeit ihrer Messung, ZfbF 1970 (22), S. 681-693
- STACKELBERG, H.v. Grundlagen einer reinen Kostentheorie, Julius Springer, Wien 1932
- STEIN, C. Zur Berücksichtigung des Zeitaspektes in der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie, Diss. München 1965
- WAGNER, G. Netzplantechnik in der Fertigung, Carl Hauser Verlag, München 1968
- WALTHER, A. Wechselbeziehungen zwischen Rechenautomaten und Operational Research, in: Ablauf- und Planungsforschung 4 (1963), Heft 1, S.146-157

WASCHECK, G./
WECKERLE, E.

Die Praxis der Netzplantechnik,
Verlag für Unternehmensführung
Dr. Max Gehler, Baden-Baden und
Bad Homburg vor der Höhe 1967

WEDEKIND, H.

Netzwerkplanung mit Kapazitäts-
beschränkung der Tätigkeiten,
FB 1965 (14) 3, S. 88-94

WILLE, H./GEWALD, K./
WEBER, H.D.

Netzplantechnik, Verlag R. Ol-
denbourg, München-Wien 1966

WITTE, E.

Mikroskopie einer unternehmeri-
schen Entscheidung, IBM-Nachrich-
ten 193, Februar 1969, S. 490-
495

ZEEP, W.

Redundanz - ein Mittel zur Stei-
gerung der Zuverlässigkeit von
technischen Systemen, in: Buse-
mann, K.F./Mertens, P. (Hrsg.),
Operations Research und Datenver-
arbeitung bei der Instandhal-
tungsplanung, C.E. Poeschel Ver-
lag, Stuttgart 1968, S. 83-102

ZIMMERMANN, W.

Modellanalytische Verfahren zur
Bestimmung optimaler Fertigungs-
programme, Anwendungsmöglichkei-
ten und -grenzen der Operations
Research Verfahren im Bereich der
Programmplanung, Verlag E.Schmidt,
Berlin 1966

LEBENS LAUF

Geboren: 22.7.1945 in Dingolfing/Niederbayern

Eltern: Dr. med.dent. Josef Conradi, Zahnarzt
Ehefrau Walburga, geb. Weniger

Schulen: 1951-1955 Volksschule in Dingolfing
1955-1958 Hum.Gymnasium in
Metten/Deggendorf
1958-1964 Hum.Gymnasium in Neumarkt/Opf.

Reifeprüfung: 22.7.1964 in Neumarkt/Opf.

Studium: WS 1964/65 - SS 1968 Maschinenbau an
der Technischen Hochschule München,
WS 1968/69 - WS 1970/71 Betriebswirt-
schaft an der Ludwig-Maximilians-
Universität München

Examen: Juli 1969, Diplom-Ingenieur
Juni 1971, Diplom-Kaufmann

Praktische
Tätigkeiten: 15 Monate technisches und kaufmänni-
sches Praktikum
2 Jahre Planungs- und Organisations-
tätigkeit

